

Osteoporose in den unteren Extremitäten bei Querschnittlähmung

Physiotherapeutische Massnahmen und deren Wirkung

Laura Ganarin

Hirzenbachstrasse 30, 8051 Zürich

Matrikelnummer: S04-253-241

ZHAW Departement Gesundheit - Physiotherapie (Jahrgang 2006)

Abgabe: 19. Juni 2009

Betreuerin: Frau Brigitte Fiechter Lienert

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	1
2.1. Themenwahl	1
2.2. Relevanz für die Physiotherapie	2
2.3. Forschungsfrage	3
2.4. Methodenwahl	4
3. Hauptteil	5
3.1. Was ist Osteoporose beim „gesunden“ Menschen	5
3.2. Querschnittlähmung – eine kurze Einführung	9
3.3. Osteoporose bei Querschnittlähmung	11
3.4. Behandlungsansätze (nicht physiotherapeutisch)	12
3.5. Physiotherapeutische Therapieansätze bei Querschnittgelähmten	13
3.6. Diskussion der Ergebnisse	28
4. Schlussteil	33
4.1. Conclusion	33
4.2. Offene Fragen	34
5. Literaturverzeichnis	35
6. Eigenständigkeitserklärung	38
8. Anhang	40
8.1. Glossar	40
8.2. Matrix der Studien für den Hauptteil	40
8.3. ASIA	57

1. Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, einen Überblick über die vorhandenen Studien bezüglich dem Thema Osteoporose in den unteren Extremitäten bei Querschnittlähmung und deren möglichen physiotherapeutischen Behandlungsmethoden aufzuzeigen. Da es sich um ein Literaturreview handelt, wurden Studien aus den verschiedensten Datenbanken zusammengetragen und die qualitativ besten Studien zu unterschiedlichen Interventionsmethoden für diese Literaturarbeit ausgewählt.

Aus den Ergebnissen, die sich in diesen Studien fanden, lässt sich schliessen, dass eine rein passive Therapie mittels Ultraschall oder funktionell elektrischer Stimulation die Knochendichte in den unteren Extremitäten bei akut Querschnittgelähmten nicht beeinflusst. Fahrradergometer mittels funktioneller elektrischer Stimulation, sowie auch Stehen (mittels Schienen oder Stehtisch) und Gehen (mittels spezieller Vorrichtung und funktioneller elektrischer Stimulation) können positive Effekte auf die Knochendichte in den unteren Extremitäten vorweisen. Jedoch verschwinden diese signifikanten Ergebnisse wieder, sobald das Training gestoppt oder mit tieferer Intensität weitergeführt wird. Des Weiteren ist zu beachten, dass die positiven Ergebnisse auf die Knochendichte vor allem im trabekulären Knochen nachgewiesen werden konnten.

2. Einleitung

2.1. Themenwahl

Das Grundthema meiner Arbeit stand für mich ziemlich schnell fest: Osteoporose. Die Krankheit, bei der die Knochendichte abnimmt und auch die Knochenstruktur sich verändert, kann jeden einmal treffen. Die Auswirkungen, die sich durch diese Diagnose ergeben können, sind eine grosse Belastung im Alltag. Schmerzen, die durch kleinste Mikrofrakturen hervorgerufen werden, sowie ein erhöhtes Frakturrisiko beeinträchtigen die Lebensqualität merklich. Den Begriff Osteoporose hat sicherlich jeder schon mal gehört und bringt dies in Verbindung mit Frauen nach der Meno-

2. Einleitung

pause. Allgemeingültige Aussagen um die Osteoporose günstig zu beeinflussen oder einem Knochenschwund vorzubeugen, wie viel Bewegung, eine ausreichende Calciumzufuhr und Sonnenlicht kann man regelmässig in verschiedensten Magazinen nachlesen. Es sind jedoch nicht nur Frauen im höheren Alter von der Osteoporose betroffen. Osteoporose ist eine Folgeerkrankung, welche bei querschnittgelähmten Patienten sehr häufig auftritt, dies vor allem in den unteren Extremitäten.

Ich selber habe keinen persönlichen Kontakt zu querschnittgelähmten Personen, habe jedoch die Autobiographie „Riss im Glück“ von Stefan Kulle gelesen. Es war für mich eine eindrückliche Lektüre. Wie ein Mensch mit eigener Willensstärke und günstigen Rahmenbedingungen (inkomplette Querschnittlähmung) einen solchen Effort leisten kann, dass er wieder auf den eigenen Beinen läuft, hat mich beeindruckt. Ebenso war die wieder erlangte Gehfähigkeit durch die intensive Betreuung einer Physiotherapeutin im Roman „Lauf des Lebens“ von Linda Howard ein Thema. Was wäre, wenn die Genesung durch Frakturen hinausgezögert wäre? Die Patienten also für längere Zeit immobil sind? Starke und gesunde Knochen sind auch für Querschnittgelähmte wichtiger, als ich zunächst dachte.

2.2. Relevanz für die Physiotherapie

Bringt man die beiden Begriffe Querschnittlähmung und Bewegung in Verbindung, so kann dies bei einigen Leuten ein Fragezeichen hervorrufen. Wie kann ein querschnittgelähmter Patient seine Knochendichte und –struktur in den unteren Extremitäten mittels Bewegung positiv beeinflussen, wenn diese gelähmt sind? Dennoch ist es von grosser Bedeutung, die Knochendichte und –struktur so gut als möglich zu erhalten. Denn bei einem querschnittgelähmten Patienten mit Osteoporose können Frakturen nur schon bei Transfers oder einer auftretenden Spastik passieren. Dies behindert die weitere Genesung und fördert zusätzlich die Immobilität des Patienten. Aus diesem Grund ist die Arbeit des Physiotherapeuten schon früh sehr wichtig. Während der Behandlung ist die positive Beeinflussung der Osteoporose ein relevanter Aspekt, welchen die Therapeuten nicht aus den Augen verlieren dürfen. Natürlich bekommen die Patienten von den Ärzten zusätzlich geeignete Medikamente, Nährstoffe und Vitamine um die Osteoporose zu verzögern. Es stellt sich

daher die Frage, mit welcher physiotherapeutischen Methode diese Folgeerkrankung am besten angegangen werden soll.

2.3. Forschungsfrage

In der aktuellen Forschung werden verschiedene physiotherapeutische Ansätze untersucht, die zum Ziel haben, positive Effekte auf den Knochen aufzuzeigen. Es existieren zwei Reviews, welche unter anderem auch die Effekte einzelner physiotherapeutischen Methoden bezüglich dem Knochenschwund beurteilen (Giangregorio und McCartney, 2006; Maïmoun, Fattal, Micallef, Peruchon und Rabischong, 2006). Da meines Erachtens dieser wichtige physiotherapeutische Aspekt in diesen Reviews eher zu kurz kommt, soll in dieser Arbeit vertiefter darauf eingegangen werden. Da vor allem in der Frühphase der Querschnittlähmung der grösste Knochenabbau in den unteren Extremitäten stattfindet (Roberts, Lee, Cuneo, Wittmann, Ward, Flatman, McWhinney und Hickman, 1998), wird der Zeithorizont der Interventionen auf bis zehn Jahre nach der Diagnose beschränkt. Daraus ergab sich zunächst die Fragestellung: Welche Methoden stehen der Physiotherapie bei komplett Querschnittgelähmten zur Verfügung, um den rasanten Abbau der Knochendichte und den Verfall der Knochenstruktur günstig zu beeinflussen und wie wirksam sind diese nebst der Einnahme von Medikamenten und Ernährungssupplementen?

Im Laufe der Arbeit musste diese Fragestellung jedoch angepasst werden. Es fanden sich schwer Studien, welche sich nur auf komplette Querschnittlähmung beziehen. Sabo, Blaich, Wenz, Hohmann, Loew und Gerner (2001) konnten jedoch belegen, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der Knochendichte in den unteren Extremitäten (nur proximaler Femur gemessen) und dem ASIA-Grad der Querschnittlähmung gibt. Es wurden auch Studien eingeschlossen mit Probanden, welche schon länger als zehn Jahre an Querschnittlähmung leiden. Auch soll die Wirkung von Medikamenten und Ernährungssupplementen nur am Rande gestreift werden, da dies sonst den Rahmen dieser Arbeit sprengt.

2. Einleitung

Aus diesen Gründen lautet die aktuelle Fragestellung: Welche Methoden stehen der Physiotherapie bei Querschnittgelähmten zur Verfügung, um den rasanten Abbau der Knochendichte und den Verfall der Knochenstruktur günstig zu beeinflussen.

Ziel dieser Arbeit ist es somit, eine Zusammenführung der aktuellen Studien zu oben genannter Fragestellung zu erarbeiten und um eventuell eine Empfehlung abgeben zu können, mit welcher Intervention Physiotherapeuten querschnittgelähmten Patienten mit Osteoporose am besten helfen können.

2.4. Methodenwahl

Die für die Arbeit notwendigen Studien habe ich in den Datenbanken Pubmed, Pedro und Medline gesucht. Dabei kamen die verschiedensten MESH-Begriffe in unterschiedlichsten Verknüpfungen zum Zuge. Die am häufigsten angewandte Verknüpfung war „AND“. Die gebrauchten Keywords waren:

- osteoporosis
- spinal cord injury
- paraplegia
- bone mineral density (BMD)
- bone loss
- physical exercise
- physiotherapy
- cycling
- standig
- walking
- electrical stimulation
- ultrasound
- fracture
- DXA

Durch die praktische Funktion „FIND SIMILAR“ stiess ich immer wieder auf interessante Querverweise.

Grundlagenliteratur wurde hauptsächlich in der Bibliotheksdatenbank NEBIS, aber auch bei Google unter den Schlagworten Osteoporose, Querschnittlähmung, Paraplegie, Neurologie, Rückenmarksverletzung, Therapie gesucht. Die dabei verwendeten Begriffe wurden sowohl in deutscher als auch englischer Sprache angewandt.

3. Hauptteil

3.1. Was ist Osteoporose beim „gesunden“ Menschen

3.1.1. Aufbau des gesunden Knochens: Röhrenknochen

Der menschliche Körper besteht aus ungefähr 200 Knochen. Nicht alle Knochen sind gleich, und deshalb lassen sie sich in verschiedene Knochentypen einteilen (Menche (Hrsg.), 2003):

- Röhrenknochen (z.B.: Oberschenkelknochen (Femur))
- Kurze Knochen (z.B.: Fuss- und Handwurzelknochen)
- Platte Knochen (z.B.: Schädelknochen, Brustbein)
- Sesambeine (z.B.: Kniescheibe (Patella))
- Irreguläre Knochen (lassen sich nicht zuteilen)

Da die Knochen nur ungefähr 10% – 15% des totalen Körpergewichts ausmachen (Menche, 2003 und Dachverband der deutschsprachigen wissenschaftlichen Gesellschaften für Osteologie (DVO) (Hrsg.), 2006) und doch eine hohe Belastbarkeit und gewisse Elastizität erfüllen müssen, haben sie eine sehr ausgeklügelte Architektur.

Nur die äussere Schicht ist mit dichtem Knochengewebe aufgebaut, die Kortikalis. Im Bereich der Diaphyse des Röhrenknochens ist die Kortikalis dicker und wird Kompakta genannt (Menche, 2003).

Der grösste Anteil des Skelettes, jedoch mit nur 20% des Gesamtgewichtes, besteht aus Knochenbälkchen, der sogenannten Spongiosa. Diese schwammigartige Bauweise ist exakt an die lokale Belastung angepasst. Je stabiler der Knochen sein muss, desto dicker und dichter sind seine Trajektionslinien (Bartl, 2008).

Der Knochen ist keine tote Materie, sondern befindet sich immer im Auf- und Abbau. Die maximale Knochendichte (peak bone mass) erreicht der Mensch im Alter von 25 – 30 Jahren, danach überwiegt der Knochenabbau. Es gibt verschiedene Knochenzellen, die daran beteiligt sind (Bartl, 2008):

- Osteoblasten (Knochenaufbau)

3. Hauptteil

- Osteozyten (Osteoblast, welcher in das Knochengewebe eingebaut ist)
- Osteoklasten (Knochenabbau)

Jährlich werden 2,5% des kortikalen Knochens und 25% der Spongiosa umgebaut. Durch diesen wesentlich schnelleren Umbau der Spongiosa ist eine Osteoporose hier am schnellsten nachzuweisen (Bartl, 2008).

3.1.2. Definition und Einteilung der Osteoporose

Die Osteoporose ist als Skeletterkrankung definiert, die durch eine unzureichende Knochenfestigkeit charakterisiert ist, welche zu einem erhöhten Frakturrisiko prädisponiert. Die Knochenfestigkeit spiegelt dabei primär das Zusammenwirken von Knochendichte und Knochenqualität wider (NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis 2001).

Bei einer Osteoporose ist der Knochenabbau grösser als der Knochenaufbau. Der Knochen nimmt an Dichte ab. Da die Spongiosa besonders betroffen ist, wird auch die Qualität des Knochens schlechter, da dünnere Trajektionslinien grossen Belastungen nicht mehr Stand halten können und sich somit Mikrofrakturen bilden können. Durch den grösseren Knochenabbau ist der Wiederaufbau der Mikroarchitektur nicht gewährleistet. Wenn nun diese winzigen Brüche nicht mehr ausheilen können, kommt es ab einem bestimmten Punkt zum Bruch des Knochens (Bartl, 2008).

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) teilt die Osteoporose in verschiedene Stadien ein. Dafür wird die Knochendichte (Bone Mineral Density: BMD) mittels der DEXA-Knochendichtemessung an der Lendenwirbelsäule oder am proximalen Femur/Schenkelhals bestimmt. Als Referenz-Werte gelten die BMD-Werte von jungen gesunden Menschen. Eine Osteoporose liegt dann vor, wenn die Standardabweichung (SD) mehr als -2.5 beträgt. Diese Werte werden als T-Werte bezeichnet (DVO, 2006).

- Normal: T-Wert oberhalb -1
- Osteopenie (erniedrigte Knochendichte): T-Wert zwischen -1 und -2,5
- Präklinische Osteoporose: T-Wert -2.5 oder tiefer

- Manifeste Osteoporose: T-Wert -2.5 oder tiefer und eine oder mehrere Frakturen

Laut Bartl (2008) kann die Osteoporose ätiologisch in zwei Hauptgruppen aufgeteilt werden: die idiopathische Osteoporose und die sekundäre Osteoporose, welche auf eine Grunderkrankung zurückzuführen ist. Nur 5% aller Osteoporosefälle sind auf eine sekundäre Osteoporose zurückzuführen, verursachen jedoch 20% der osteoporosebedingten Frakturen. Die Immobilisation, worunter auch die Querschnittlähmung fällt, gehört zur sekundären Osteoporose.

3.1.3. Risikofaktoren: eine Aufzählung

Die Osteoporose kann durch viele Faktoren begünstigt werden. Nur manche Faktoren können beeinflusst werden. Hier soll nur eine Auswahl an Risikofaktoren aufgelistet werden, ohne deren Wirkungsweise näher zu erläutern (Zäch und Koch, 2006):

- Genetische Vorbelastung
- Alter (Peak bone mass im Alter von circa 30 Jahren)
- Geschlecht (bei der Frau nimmt nach der Menopause das Risiko einer Osteoporose deutlich zu aufgrund des Abfalls der Östrogenproduktion)
- Chronischer Bewegungsmangel
- Immobilisation
- Untergewicht
- Rauchen
- Alkoholismus
- Fehlernährung
- Medikamente

3.1.4. Diagnostik: Osteodensitometrie

Gewöhnliche Röntgenaufnahmen können nur Aufschluss über eine starke Demineralisierung des Knochens und ausserdem über schon vorhandene Frakturen liefern. Zur Frühdiagnose als auch zur Therapiekontrolle der Osteoporose wird die Osteodensitometrie (Knochendichtemessung) angewendet. Die Strahlenbelastung für den

3. Hauptteil

Patienten ist wesentlich geringer als beim konventionellen Röntgen (Hepp und Debrunner, 2004).

Die Tabelle 1 soll einen Überblick über die heute gängigen Verfahren zur Knochendichtemessung und deren Präzision liefern. Es muss beachtet werden, dass Werte der einzelnen Messmethoden untereinander nicht verglichen werden sollten und zur Therapiekontrolle immer mittels desselben Verfahrens die BMD gemessen werden sollte (Bartl, 2008).

Methode	Messort (Beispiele)	Accuracy [Fehler um den tatsächlichen Wert]	Precision [Fehler bei mehreren Messungen]	Untersuchungs- dauer
Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA, DEXA)	LWS Hüfte gesamt	1-10%	1-2%	1-10 min
Periphere Dual Energy X-Ray Absorptiometry (pDXA)	Unterarm Finger Ferse	1-10%	1-2%	1-10 min
Single Energy X-Ray Absorptiometry (SXA)	Ferse	2-5%	1-2%	< 5 min
Quantitative Compu- tertographie (QCT)	LWS	3-15%	2-4%	10 min
Periphere quantitative Computertographie (pQCT)	Unterarm Beine	2-8%	1-2%	5-15 min
Quantitativer Ultra- schall (QUS)	Ferse Finger Patella	-	2-8%	5-10 min
DP3 dual-photon densitometer	Hüfte	-	-	-

Tabelle 1: Verschiedene Knochendichte-Messmethoden im Vergleich (Bartl, 2008).

Dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) gilt als der klinische „Gold Standard“ für die Diagnose der Osteoporose (Giangregorio et al., 2006).

3.1.5. Therapie der Osteoporose: verschiedene Ansätze

Bartl (2008) nennt verschiedene Ansatzpunkte für ein Behandlungskonzept, welche bei einer Osteoporosetherapie je nach Stadium und individuell auf den einzelnen

Patienten abgestimmt zum Zuge kommen. Eine Aufzählung einiger Ansätze soll hier genannt werden:

- Bewegungstherapie
- Sturzprophylaxe
- Gesunde Ernährung, Lebensstil
- Vitamin D und Kalzium als Nahrungsergänzung
- Hormonersatztherapie bei Frauen nach Menopause
- Bisphosphonate (antiresorptive Therapie)
- Parathormon (osteoanabole Therapie)

Ziele dieser Interventionen sind nach Bartl (2008) vor allem die Verhinderung des fortschreitenden Knochenschwundes und osteoporotischer Frakturen.

Therapiebeginn mittels Osteoporosetherapeutika nach DVO (2006; zit. nach Bartl, 2008, S. 103):

Der Therapiebeginn wird dann empfohlen, wenn das auf der Grundlage der derzeit verfügbaren epidemiologischen Daten geschätzte 10-Jahresrisiko für Wirbelkörper- und proximale Femurfrakturen >30% beträgt und die T-Werte der DEXA-Messung an der LWS oder Hüfte <-2,0 betragen und damit eine therapeutische Effizienz der Osteoporosetherapeutika belegt ist.

3.2. Querschnittlähmung – eine kurze Einführung

3.2.1. Medulla spinalis

Die medulla spinalis, auch Rückenmark genannt, befindet sich im Wirbelkanal der Wirbelkörper. Sie ist das Verbindungsorgan, welches Informationen zwischen Gehirn und dem gesamten Körper überträgt. Rückenmark und Gehirn bilden zusammen das Zentrale Nervensystem (ZNS). Hier befinden sich viele auf- und absteigende Bahnen, welche den Körper mit sensiblen, motorischen und autonomen Nerven versorgen. Eine der wichtigsten und zugleich auch grössten motorischen Bahnen ist die Pyramidenbahn (Tractus corticospinalis), deren Ursprung beim motorischen Kortex im Gehirn liegt. Das Rückenmark reicht ungefähr bis zum Beginn der

3. Hauptteil

Lendenwirbelsäule, danach verlaufen die Spinalnerven in der sogenannten Cauda equina (Zäch, 2006).

Nach Mummenthaler und Mattle (2006) ist ein Querschnittssyndrom, welches akut auftritt und eine komplette Schädigung herbeiführt, in den meisten Fällen auf ein Trauma oder eine Ischämie zurückzuführen. Andere Ursachen können Tumore oder Blutungen sein, welche Druck auf das Rückenmark ausüben. Auch entzündliche Erkrankungen der medulla spinalis können zu einer Rückenmarksschädigung führen.

3.2.2. Einteilung nach ASIA

Wenn ein Patient mit einer Querschnittssymptomatik untersucht wird, ist die Klassifizierung nach der American Spinal Injury Association (ASIA) die notwendige Grundlage. Anhand der klinischen Untersuchung der sensiblen und motorischen Funktionen können Rückschlüsse auf den Ort der Verletzung und auf das Ausmass der Läsion gezogen werden. Mittels diesem Verfahren kann die Querschnittlähmung in A (komplett), B – D (inkomplett: verschiedene Abstufungen) und E (normale Funktionen) eingeteilt werden (Zäch, 2006). (Tabelle 2)

ASIA	Sensorik	Motorik
A	komplett	komplett
B	inkomplett	komplett
C	inkomplett	inkomplett Motorische Funktion unterhalb dem Lähmungsniveau erhalten, und mehr als die Hälfte der Kennmuskeln mit Muskelkraftgrad < 3
D	inkomplett	inkomplett Motorische Funktion unterhalb dem Lähmungsniveau erhalten, und mehr als die Hälfte der Kennmuskeln mit Muskelkraftgrad ≥ 3
E	restitutio ad integrum	

Tabelle 2: ASIA-Klassifizierung der Querschnittlähmung (American Spinal Injury Association (ASIA) (Hrsg.), 2006).

International Campaign for Cures of spinal cord Injury Paralysis (ICCP) (2007) nennt die einfache Anwendung, die keine oder wenige Geräte erfordert und die weltweite Verbreitung dieses Klassifizierungssystems als grosse Vorteile der ASIA-Skala.

Jedoch ist die Messempfindlichkeit zu grob, als dass kleine therapeutische Auswirkungen bezüglich dem Verlauf der neurologischen Funktionen beurteilt werden könnten. Hierfür müssen dann genauere und empfindlichere Messinstrumente herangezogen werden (ASIA-Subskala für Motorik, somatosensibel evozierte Potentiale (SSEP), Elektromyographie (EMG), motorisch evozierte Potenziale (MEP) und zahlreiche weitere Funktionstests für die Leistungsfähigkeit einer Funktion oder Aktivität des täglichen Lebens (ADL)).

Mittels der ASIA-Abstufung können auch prognostische Aussagen nach einer Querschnittverletzung gemacht werden. Maynard et al. (1979; zit. nach Wallesch, Unterberg und Dietz, 2005, S. 185) zeigen in Ein-Jahres-Verlaufskontrollen bei akuten traumatischen zervikalen Rückenmarksläsionen, dass bei senso-motorischen kompletten Ausfällen (ASIA A) bis 72 Stunden nach dem Unfall kein Patient wieder eine funktionelle Gehfähigkeit erlangen konnte. Jedoch waren 47% der sensibel inkompletten und motorisch kompletten (ASIA B) und 87% der senso-motorisch inkomplett (ASIA C/D) gelähmten Patienten später wieder gehfähig.

3.3. Osteoporose bei Querschnittlähmung

3.3.1. Verlauf der Osteoporose bei Querschnittlähmung

Osteoporose ist eine der Hauptkomplikationen bei Patienten mit einer Querschnittlähmung (Maïmoun et al., 2006; zit. nach Biering-Sorensen, Bohr und Schaadt, 1988; zit. nach Minaire, Meunier, Edouard, Bernard, Courpon und Bourret, 1974). Zehnder, Lüthi, Michel, Knecht, Perrelet, Neto, Kränzlin, Zäch und Lippuner (2004) zeigten in ihrer Studie, dass in den unteren Extremitäten die Knochendichte mit der Zeit überall abnahm ($p < 0.0001$). Auch konnten sie aufzeigen, dass der Knochenverlust im Femurhals und der distalen Tibia-Epiphyse in den ersten drei Jahren exponentiell abnahmen und sich danach auf einem relativ konstanten Niveau einpendelte. Im Gegensatz hierzu schwand die Knochenmasse im Tibia-Schaft kontinuierlich weiter, sogar noch zehn Jahre nach dem Unfall. Die Knochendichte in der LWS verzeichnete dagegen einen leichten Anstieg ($p < 0.005$). Sie konnten somit nachweisen, dass in der Frühphase (bis drei Jahre nach Unfall) vor allem der trabekuläre Knochen an

3. Hauptteil

Dichte verliert und die Abnahme der Knochendichte in der Kortikalis persistent ist. Eser, Frotzler, Zehnder, Wick, Knecht, Denoth und Schiessl (2004) erhielten ähnliche Resultate bei Probanden mit einer Querschnittsdiagnose zwischen zwei Monaten und 50 Jahren. In ihrer Studie fanden sie heraus, dass in der Epiphyse des Femurs die Knochendichte etwa um 50% und in der Epiphyse der Tibia um etwa 60% abnahm, während die Abnahme der BMD im Schaft des Femurs etwa 35% und im Schaft der Tibia etwa 25 % betrug.

Warum es jedoch zu einem so starken posttraumatischen Knochenschwund in kürzester Zeit kommt, konnte bis heute nicht gänzlich geklärt werden (Zäch, 2006).

3.3.2. Komplikation: Frakturen

Aufgrund des sehr starken Knochendichteverlustes bei Querschnittgelähmten sind Frakturen eine häufige Folge. Das Risiko einer querschnittgelähmten Person, eine Fraktur in den unteren Extremitäten zu erleiden, ist in etwa doppelt so hoch wie das einer körperlich gesunden Person (Eser et al., 2004). Laut Zehnder et al. (2004) beträgt die durchschnittliche Dauer bis zur ersten Fraktur in den unteren Extremitäten 8.9 ± 1.4 Jahre. Die Frakturinzidenz steigt von 1% in den ersten zwölf Monaten auf bis zu 4.6% pro Jahr bei Patienten, welche schon seit mehr als zwanzig Jahren an einer Querschnittlähmung leiden. Die meisten Frakturen passieren aufgrund von Stürzen aus dem Rollstuhl. Giangregorio et al. (2006) kamen in ihrem Review zum Schluss, dass die häufigste Lokalisation, eine Fraktur zu erleiden, rund um das Knie ist (distaler Femur, proximale Tibia und Patella). Komplikationen als Folge einer Fraktur sind eine zusätzliche Gefahr für eine erhöhte Morbidität.

3.4. Behandlungsansätze (nicht physiotherapeutisch)

Für die Osteoporose bei Querschnittgelähmten gelten grundsätzlich dieselben Behandlungsansätze wie bei anderen Osteoporose-Patienten. Jedoch ist es wichtig, den schnellen Knochenabbau mittels Medikamenten wenn möglich zu hemmen. Hierzu nennen Maïmoun et al. (2006) in ihrem Review spezifisch zwei Osteoklasten-Hemmer, welche beim Einsatz bei Querschnittgelähmten Patienten näher untersucht wurden und auch positive Effekte erzielten:

- Calcitonin
- Bisphosphonate

Wobei der Wirkstoff Bisphosphonat verträglicher ist, weniger Nebenwirkungen aufzeigt und auch den besseren Effekt auf die Knochendichte aufweist.

3.5. Physiotherapeutische Therapieansätze bei Querschnittgelähmten

3.5.1. Ultraschall

Warden, Bennell, Matthews, Brown, McMeeken und Wark (2001) untersuchten, ob mittels low-intensity Ultraschall die Osteoporose am Calcaneus, welche in Folge eines Querschnittstraumas auftritt, in ihrem Fortschreiten verlangsamt oder verhindert werden kann.

An der Studie nahmen 15 Probanden teil. Die Probanden waren zwischen einem bis sechs Monaten querschnittgelähmt. Unter dem zwölften Brustwirbel (Th12) hatten sie keine motorische Kontrolle mehr, was einem ASIA Grad A oder B entspricht. Zur Teilnahme an der Studie wurden keine Probanden zugelassen, die über 40 Jahre alt, medizinisch instabil und nicht transportfähig waren. Auch vorbestehende Knochenerkrankungen, Verletzungen des Calcaneus, sowie die Einnahme von Medikamenten, welche eine bekannte Auswirkung auf den Knochen haben, durften nicht vorhanden sein. Des Weiteren mussten die zugelassenen Probanden für die nächsten sechs Monate in der Rehaklinik verweilen.

Während sechs Wochen an fünf Tagen pro Woche wurde täglich 20 Minuten low-intensity Ultraschall angewendet. Dafür wurden medial und lateral an beiden Calcanei Ultraschallköpfe mit Gel-Pads befestigt und mit einer Aufspannvorrichtung in der Position gehalten. Die Positionen wurden mittels semipermeablen Skin-Markern für die ganze Interventionsdauer gekennzeichnet. Die Patienten wussten nicht, an welchem Calcaneus die aktive Ultraschall-Behandlung war. Die Einstellungen waren folgende: 10 μ sec Burst mit 1.0 MHz und repetierender Sinuskurve bei 3.3 kHz, Intensität bei 30 mW/cm² und die effective radiating area (ERA) war 4.72 – 4.85 cm².

3. Hauptteil

Zu Beginn und am Ende der Studie wurden die Bone Mineral Content (BMC), die Bone Ultrasound Attenuation (BUA) und der Speed of Sound (SOS) mittels DEXA und QUS von einem verblindeten Tester gemessen.

Es wurde keine signifikante Wirkung des low-intensity Ultraschalls am Calcaneus im Vergleich zum inaktiven Ultraschall am anderen Calcaneus festgestellt ($p > 0.05$). Jedoch nahm die BMC, die BUA und der SOS in beiden Calcanei ab ($p < 0.001$). Somit konnte gezeigt werden, dass die Querschnittlähmung einen signifikant negativen Einfluss auf die Knochenqualität und -quantität hat.

Beurteilung

In der Studie wurden nur 15 Probanden eingeschlossen. Jedoch konnte die Intervention doppelverblindet durchgeführt werden, was wiederum positiv ist.

Gründe für die fehlende Wirksamkeit des Ultraschalls auf die Knochendichte könnte die kurze Interventionsdauer von sechs Wochen sein. Auch die Tatsache, dass nur ein kleiner Teil des Calcaneus (2%) behandelt wurde, spricht nicht für die Qualität der Studie. Dies führt daher, da die Ultraschallwellen an der kortikalen Schale des Knochens reflektiert werden und somit wird das eigentliche Zielgebiet, der trabekuläre Knochen, nicht erreicht.

3.5.2. Funktionelle elektrische Stimulation (FES)

Clark, Jelbart, Rischbieth, Strayer, Chatterton, Schultz und Marshall (2007) untersuchten, ob funktionelle elektrische Stimulation (FES) die Knochenatrophie bei Querschnittgelähmten Patienten beeinflussen kann, als auch die Sicherheit, Verträglichkeit und Realisierbarkeit dieser Methode zur Verminderung des Knochenverlustes.

An der Studie nahmen zwischen 1997 – 2001 dreiunddreissig Probanden mit akuter Querschnittlähmung ASIA Grad A – D teil. Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren ein Alter zwischen 18 – 55 Jahren und eine Querschnittlähmung höher als L1 (erster Lendenwirbel). Probanden mit vorbestehender Osteoporose, Frakturen in den unteren Extremitäten oder Becken, den Knochenmetabolismus beeinflussenden Medikamenten oder vorhandenen Kontraindikationen für die FES-

Therapie wurden von der Studie ausgeschlossen. Es wurde drei Wochen nach dem Unfall mittels elektrischer Stimulation mit 30 Hz am M. quadriceps femoris und M. tibialis anterior geschaut, ob ein Tetanus ausgelöst werden kann. Es wurden zwei homogene Gruppen bezüglich Alter und Geschlechteraufteilung gebildet: FES (n=23) und eine Kontrollgruppe (CON) (n=10).

Die ersten zwei Wochen bei Studienbeginn (ungefähr drei Wochen nach Unfall) wurden als Vorbereitungsphase genutzt und verschiedenste Vitalzeichen zur Verträglichkeit der Intervention gemessen. Die Intervention war gut verträglich. Danach wurde über fünf Monate an fünf Tagen die Woche an beiden unteren Extremitäten je 2 x 15 Minuten Intervention täglich durchgeführt. Hierfür befanden sich die Patienten in halb liegender Position mit 20° Knieflexion. Am M. quadriceps femoris und M. tibialis anterior befanden sich Elektroden an motorischen Punkten. Die Einstellung der FES lag bei einem Stimulations: Pauseverhältnis von 4:8 Sekunden. Im Mittel trainierten die Probanden drei Stunden in der Woche, was 61% der planmässig vorgesehen Intervention entspricht.

Mittels DEXA wurde drei Wochen, sechs Wochen, drei Monate und sechs Monate nach dem Unfall die BMD für den ganzen Körper, die unteren Extremitäten, die Lendenwirbelsäule (L2 – 4), den Femurhals und den proximalen Femur, sowie die Körperfettmasse bestimmt.

Nach drei Monaten wurde zwischen der FES und CON Gruppe im BMD des ganzen Körpers ein signifikanter Unterschied festgestellt ($p < 0.01$). Dieser Erfolg hob sich nach der Schlussmessung jedoch wieder auf. Sonst wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen der FES und CON Gruppe gefunden, weder bei der BMD noch bei der Körperfettmasse.

Beurteilung

Die Studie ist weder randomisiert, noch wurde eine Verblindung der Teilnehmer aus ethischen Gründen durchgeführt. Für die doch eher geringe Anzahl Probanden gab es viele Drop-Outs (FES: sechs und CON: drei). Die Messer waren verblindet. Das Ausbleiben eines positiven Resultats könnte sich auf die Tatsache zurückführen las-

3. Hauptteil

sen, dass die Dosis und Anwendung subtherapeutisch war und nur eine geringe Muskelmasse aktiviert wurde. Auch die Quote von 61% durchgeführter Intervention scheint niedrig.

3.5.3. Fahrradergometer mittels funktioneller elektrischer Stimulation (FESCE)

Der Unterschied zwischen FES und FESCE besteht darin, dass in der zweiten Methode mittels funktioneller elektrischer Stimulation der Hauptmuskelgruppen der unteren Extremitäten eine Tretbewegung auf dem Fahrradergometer möglich ist.

Studie 1

Chen, Lai, Chan, Huang, Tsai und Chen (2005) untersuchten, ob mittels FESCE die Knochendichte bei querschnittgelähmten Patienten erhöht werden kann, als auch die allgemeine Veränderung der Knochendichte nach einer Querschnittlähmung.

An der Studie nahmen fünfzehn männliche querschnittgelähmte Probanden teil, welche schon mindestens seit zwei Jahren und sieben Monaten die Diagnose Querschnittlähmung hatten und neurologisch stabil sind. Weitere Einschlusskriterien waren eine komplette Läsion zwischen C5 und T8 und eine Muskelantwort auf einen FESCE-Versuch. Ausschlusskriterien waren vorhandenes Metall in den unteren Extremitäten, kürzliche Frakturen, eingeschränkte Bewegungsfreiheit (range of motion: ROM), sowie Herz- und Kreislaufbeschwerden. Die Kontrollgruppe bestand aus fünfzehn gesunden männlichen Probanden im gleichen Alter.

Die Intervention wurde über sechs Monate an fünf Tagen die Woche für 30 Minuten pro Tag durchgeführt, was 120 Trainingseinheiten entspricht. Hierzu wurden Elektroden auf beide Mm. ischiocrurales und M. quadriceps geklebt um eine rhythmische Pedalbewegung zu erhalten. Die FESCE wurde mit einer Frequenz von 20 Hz, einer Intensität von 120 mA und einer Pulsdauer von 300 μ sec eingestellt. Die Referenzelektroden befanden sich proximal der Patella und der Fossa poplitea. Die Intervention wurde in sitzender Position und mit minimalem Pedalwiderstand ausgeführt.

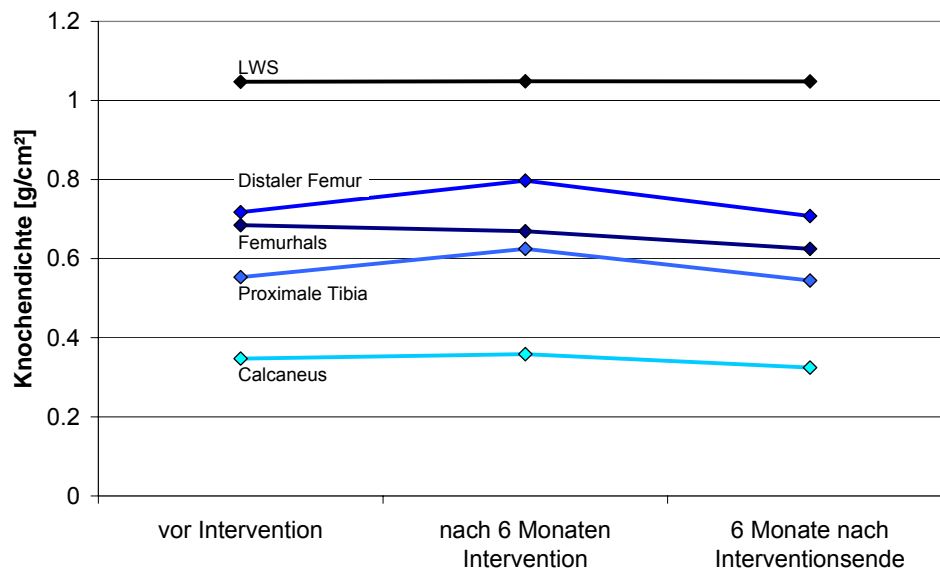
Zu Beginn, am Ende und sechs Monate nach der Intervention wurde die Knochendichte an der Lendenwirbelsäule (L2 – L4), am rechten Femurhals, am distalen Femur, an der proximalen Tibia und am Calcaneus mittels DEXA gemessen.

Zu Beginn der Studie war die Knochendichte der FESCE-Gruppe im Femurhals um 26%, im distalen Femur um 39%, in der proximalen Tibia um 47% und in der Ferse um 48% tiefer als in der CON-Gruppe. Einzig in der Lendenwirbelsäule gab es keinen signifikanten Unterschied. Nach einer sechsmonatigen Interventionsdauer stieg die mittlere Knochendichte der FESCE-Gruppe des distalen Femurs um $11.13 \pm 0.80\%$ (mean \pm SD) und der proximalen Tibia um $12.92 \pm 2.24\%$ ($p < 0.05$). Diese gewonnene Zunahme an Knochendichte war nach weiteren sechs Monaten ohne Intervention verschwunden ($p < 0.05$). Die Ferse zeigt nach sechs Monaten Interventionsdauer mit FESCE nur einen Trend in Richtung Knochendichtezunahme ($p > 0.05$), jedoch eine signifikante Abnahme der Knochendichte in den folgenden sechs Monaten ($p < 0.05$). Die Knochendichte des Femurhalses zeigte auch nach sechsmonatiger Interventionsdauer sogar einen Trend in Richtung Knochendichteabnahme ($p > 0.05$) und in den darauffolgenden sechs Monaten eine signifikante Knochendichteabnahme (Vergleiche für die Anschauung der Ergebnisse in Tabelle 3 und Figur 1).

	gesunde Probanden	FESCE-Gruppe vor Intervention	FESCE-Gruppe nach 6 Monaten Intervention	FESCE-Gruppe 6 Monate nach Interventionsende
LWS	1.0470 ± 0.0750	1.0473 ± 0.1360	1.0487 ± 0.1390	1.0483 ± 0.1422
Femurhals	0.9232 ± 0.1056	0.6847 ± 0.0648	0.6695 ± 0.0716	0.6249 ± 0.0609
Distaler Femur	1.1812 ± 0.1306	0.7177 ± 0.0662	0.7975 ± 0.0703	0.7077 ± 0.0657
Proximale Tibia	1.0499 ± 0.1123	0.5533 ± 0.0786	0.6248 ± 0.0855	0.5447 ± 0.0765
Calcaneus (Ferse)	0.6678 ± 0.0672	0.3474 ± 0.0481	0.3586 ± 0.00480	0.3245 ± 0.0449

Tabelle 3: Knochendichte (BMD) in g/cm^2

3. Hauptteil



Figur 1: Verlauf der BMD vor, während und nach der Intervention für verschiedene Messstellen.

Beurteilung

An der Studie wurden nur männliche Probanden untersucht, somit sind Rückschlüsse auf Frauen nicht möglich. Auch ist die Zahl mit fünfzehn Teilnehmern eher gering.

Da nur komplett querschnittgelähmte Probanden (ASIA A) in die Studie eingeschlossen wurden, ist die Zielgruppe klar definiert. Aufgrund des Interventionsbeginns erst nach mindestens zwei Jahren und sieben Monaten nach Diagnosestellung ist die grösste Knochendichteabnahme aufgrund der Querschnittlähmung schon geschehen.

Die Zunahme der Knochendichte am distalen Femur kann mit der direkten Belastung des Knies beim Velofahren durch die Aktivierung des M. quadriceps und an der proximalen Tibia durch die Insertionen der stimulierten Muskeln erklärt werden. Ein Grund für das Ausbleiben einer positiven Wirkung am Femurhals könnte die aufrechte Sitzposition sein, so dass an dieser Stelle keine Belastung stattfindet.

Studie 2

Eser, de Bruin, Telley, Lechner, Knecht und Stüssi (2003) untersuchten den Effekt an der Tibia auf die Knochendichte mittels FESCE.

An der Studie waren 44 Probanden mit akutem ASIA A oder B zwischen C5 und T12 involviert, wobei die Probanden selbst aussuchen durften, ob sie in der Interventions- (I) oder Kontroll- (C) Gruppe mitmachen wollten. Jedoch wurde auch auf Homogenität der Gruppen bezüglich Alter (mean: 32.9; range: 20 – 60 Jahre) und Geschlecht (in jeder Gruppe zwei Frauen) geachtet. Von der Studie ausgeschlossen wurden Personen, welche nach der Diagnose Querschnittlähmung Frakturen an den unteren Extremitäten erlitten hatten, an Kontrakturen, Thrombose, eingeschränkter ROM in Knie und Hüfte, sowie an Krankheiten leiden, welche den Knochenmetabolismus beeinflussen.

Die Probanden starteten mit dem Training, sobald Sitzen im Rollstuhl möglich war. Dies war zwischen der vierten bis achten Woche nach dem Unfall. Die Dauer der Intervention entsprach der Dauer des ersten Rehabilitationsaufenthaltes (mean = sechs Monate). Während dieser Zeit hatten die Probanden dreimal wöchentlich für 30 Minuten oder bis die Probanden stoppen wollten ein FESCE Training. Die Elektroden wurden an den Mm. ischiocrurales, am M. quadriceps und an den Mm. gluteae befestigt. Die Intensität der FESCE war 140 mA, der Puls 0.3 ms (0.4 ms, falls nach sechs 30-minütigen Trainingseinheiten nicht gegen Widerstand trainiert werden konnte). Der Widerstand des Schwungrades war zwischen null und einem Kilopond. An den restlichen zwei Tagen pro Woche wurde jeweils ein 30-minütiges Stehtraining absolviert. Die Kontroll-Gruppe absolvierte an fünf Tagen pro Woche ein Stehtraining. Daneben bekamen beide Gruppen ein Standard-Rehabilitationsprogramm.

Die Knochendichte des rechten mittleren Tibiaschaftes wurde sobald als möglich nach dem Unfall und am Ende der Intervention (4 – 9 Monate nach der ersten Messung) mittels eines Computer-Tomographen (CT) gemessen.

Zu Beginn der Intervention gab es keine Inter-Gruppen Differenz in der BMD. Auch bei der zweiten Messung bei Interventionsende konnte kein statistisch signifikanter Unterschied für absolute und relative BMD gefunden werden ($p = 0.3$ und 0.2). Es konnte jedoch ein Trend zur verlangsamten Knochendichte-Abnahme in der Interventionsgruppe festgestellt werden. Der mittlere Knochendichte-Verlust im rechten

3. Hauptteil

Tibiaschaft in der Interventionsgruppe betrug 0.3% (\pm 0.6) pro Monat und in der Kontrollgruppe 0.7% (\pm 0.8) pro Monat. In der ganzen Studie konnten in der Interventionsgruppe nur zwei signifikante Korrelationen festgestellt werden: zwischen dem Alter und der absoluten ($r = -0.45$, $p = 0.05$) als auch der relativen ($r = -0.46$, $p = 0.05$) Knochendichtenveränderung pro Monat.

Beurteilung

Die Probanden durften die Zuteilung in die Interventions- oder Kontroll-Gruppe selbst wählen. Eine Verblindung der Probanden war somit nicht gewährleistet, da schon vor dem Unfall eher aktive Probanden sich lieber in die Intervention-Gruppe einteilen liessen. Aufgrund der grossen Spannbreite des Alters der Probanden ist die Studie zu allgemein ausgelegt. Dadurch, dass die Intervention so bald als möglich nach dem Unfallereignis angesetzt ist und hier der grösste Verlust an trabekulärem Knochen stattfindet, ist der Zeitpunkt der Studie wohl gut gewählt.

Das Ausbleiben eines signifikanten Effektes auf die BMD des Tibiaschaftes, welche mittels CT gemessen wurde, kann auf verschiedene Gründe zurückgeführt werden:

- Zu kurze Interventionsdauer.
- Elektroden für Elektrostimulation wurden an der Muskulatur des Oberschenkels angesetzt. Eventuell hätten Elektroden an den Fussflexoren und –extensoren befestigt werden können um auch die Knochendichte im Unterschenkel zu stimulieren.
- Dichte des kortikalen Knochens gemessen (beachte: der Knochenverlust in der Kortikalis ist langsamer oder verspätet im Gegensatz zum trabekulären Knochen).

Eine interessante Aussage der Studie ist, dass Probanden mit einem anfangs höherem BMD viel schneller an Knochendichte verlieren, als Probanden mit einem tiefen BMD am Anfang der Studie. Hierfür wurden jedoch keine p-Werte geliefert.

Studie 3

Mohr, Podenphant, Biering-Sorensen, Thamsborg und Kjaer (1997) untersuchten, ob sich die Knochendichte bei schon länger querschnittgelähmten Patienten mittels FESCE in der Lendenwirbelsäule und den unteren Extremitäten verbessert.

Es nahmen zehn Probanden an der Studie teil, wovon zwei Probanden Frauen waren. Sechs Probanden waren Tetraplegiker und vier Paraplegiker, jedoch hatten alle eine komplette motorische Läsion in den unteren Extremitäten. Auch eine volle Bewegungsfreiheit (ROM) in den unteren Extremitäten war Bedingung für eine Aufnahme in die Studie. Das Alter der Probanden lag im Durchschnitt bei 35.3 Jahre (range: 27 – 45 Jahre) und bei Start der Intervention hatten die Probanden schon seit zwei bis 24 Jahren die Diagnose Querschnittlähmung (mean: 12.5 Jahre). Als Kontrollgruppe wurden die Norm-Angaben der Scanner-Software von gesunden Menschen herangezogen.

Für die funktionelle elektrische Stimulation der Muskulatur der unteren Extremitäten wurden Elektroden am M. quadriceps, den Mm. ischiocrurales und den Mm. glutei befestigt um die Pedalbewegung zu imitieren. Die Probanden befanden sich im aufrechten Sitz an einem Fahrradergometer. Die Intervention fand über zwölf Monate mit wöchentlich drei Trainingseinheiten von 30 Minuten statt. Danach wurde für weitere sechs Monate einmal pro Woche 30 Minuten trainiert. Die Arbeitsintensität war so hoch wie möglich eingestellt.

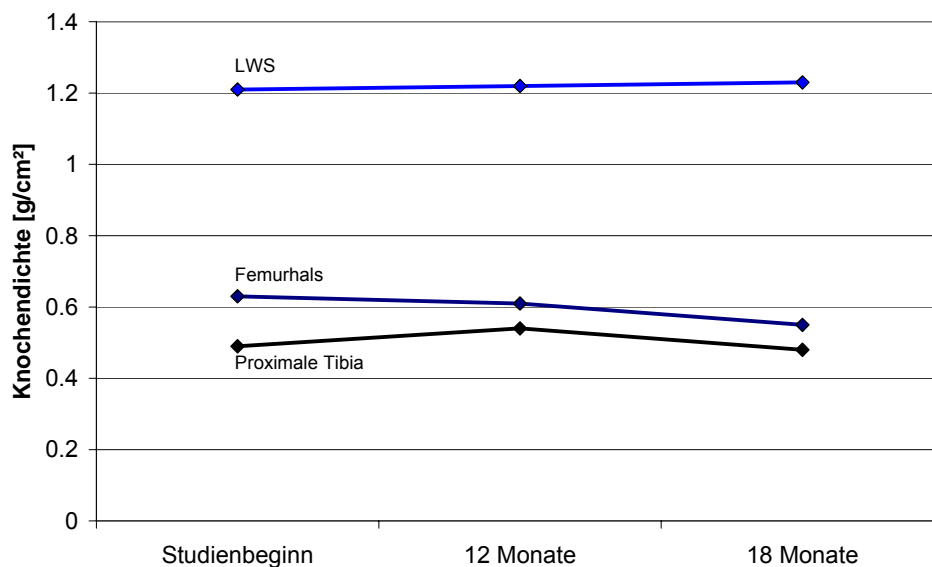
Mittels eines DEXA wurde die Knochendichte der LWS, des Femurhalses und der proximalen Tibia zu Beginn der Studie, nach zwölf und nach 18 Monaten gemessen.

Vor Beginn der Intervention war die BMD in der proximalen Tibia um 52% tiefer als in der Kontrollgruppe ($p < 0.05$). Auch die Knochendichte im Femurhals war signifikant tiefer. Nach zwölf Monaten Intervention zeigte sich ein signifikanter Anstieg in der Knochendichte in der proximalen Tibia um $9.7 \pm 3.5\%$. In der Messung nach 18 Monaten war die gewonnene Knochenzunahme in der proximalen Tibia wieder auf ihren Anfangswert gesunken (Vergleiche Tabelle 4 und Figur 2).

3. Hauptteil

	Studienbeginn	12 Monate	18 Monate
Proximale Tibia	0.49 ± 0.04	0.54 ± 0.04	0.48 ± 0.02
Femurhals	0.63 ± 0.05	0.61 ± 0.05	0.55 ± 0.05
LWS	1.21 ± 0.07	1.22 ± 0.07	1.23 ± 0.09

Tabelle 4: Knochendichte (BMD) in g/cm^2



Figur 2: Verlauf der Knochendichte an verschiedenen Messstellen.

Beurteilung

In der Studie wurden nur zehn Probanden eingeschlossen, wobei es nach zwölf Monaten einen Drop-Out gab. Auch die genaue Beschreibung der Intervention bezüglich Angaben zur Einstellung der funktionellen elektrischen Stimulation und genauer Elektrodenplatzierung fehlen.

Aufgrund der Resultate der Studie ist wahrscheinlich, dass für einen anhaltenden Effekt ein lebenslanges Training mit einer genügenden Intensität notwendig wäre.

3.5.4. Stehen und Gehen

Studie 1

De Bruin, Frey-Rindova, Herzog, Dietz, Dambacher und Stüssi (1999) untersuchten, ob Stehen und Gehen in der Akutphase der Querschnittlähmung einen Effekt auf die Knochendichte und die Biegesteifigkeit hat.

An der Studie nahmen 19 männliche Probanden im Alter von 19 – 53 Jahren mit ASIA A – D und einem akuten Querschnittstrauma zwischen C4 – L1 teil. Die Patienten wurden mittels Zufallsauswahl in drei verschiedene Interventions-Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe (n = 6) wurde mittels Stehen und Gehen therapiert, die zweite (n = 7) mittels Stehen und normalem Reha-Programm, und bei der dritten Gruppe (n = 6) waren nur Messungen fünf Wochen nach Unfall vorhanden, da sie der Studie erst in den letzten drei Monaten der eineinhalb Jahre dauernden Erhebungsperiode beigetreten waren. An der Studie durfte nicht teilgenommen werden, wenn anderweitige Verletzungen, Kreislaufprobleme oder medizinische und psychische Instabilität vorhanden waren.

Studienansatz	Stehen Gehen $\Sigma_{\text{vorher}}=6$	Stehen $\Sigma_{\text{vorher}}=7$	Kurzzeitig eingetreten $\Sigma=6$
Studienauswertung			
Immobil oder kurze Teilnahme $\Sigma_{\text{total}}=4$	$\Sigma=1$	$\Sigma=3$	
Aktive Therapie $\Sigma_{\text{total}}=9$	$\Sigma=5$	$\Sigma=4$	

Figur 3: Übersicht über die Anzahl Probanden beim Studienansatz und der Studienauswertung.

Beide Gruppen starteten mit dem Interventionsprogramm so früh wie möglich. Die erste Gruppe absolvierte neben dem normalen Rehabilitationsprogramm fünfmal wöchentlich je 30 Minuten Stehen mittels Hüftfixation und 30 Minuten Gehen über sechs Monate. Beim Gehen wurde mittels einer speziellen Vorrichtung Gewicht der

3. Hauptteil

Probanden abgenommen und wenn nötig half ein Physiotherapeut um die Gangphasen zu stimulieren. Die Geschwindigkeit des Laufbandes betrug 1.3 km/h. Die zweite Gruppe verbrachte neben dem Standard-Rehabilitationsprogramm ebenfalls fünf Tage die Woche über ein halbes Jahr jeweils eine Stunde täglich im Stehen.

In den Wochen 5, 9, 13, 17, 21 und 25 nach dem Unfall wurde jeweils Messungen der linken Tibia mittels eines Computertomographen durchgeführt. Die Messpunkte befanden sich an der Diaphyse und nahe den Malleolen. Es wurde unterteilt in kortikalen und trabekulären Knochen. Des Weiteren wurde mittels eines BSMD-Swing die Biegesteifigkeit des Knochens in den Wochen fünf und 25 gemessen.

Es gab verschiedenste Komplikationen bei den Probanden, welche die frühe Intervention oder auch ganz allgemein die Intervention verunmöglichten. Somit wurden für die Auswertung die Probanden in zwei andere Gruppen eingeteilt als zu Beginn der Studie. Die erste Gruppe bestand aus Probanden, welche immobil waren oder nur ungenügend am Interventionsprogramm teilnehmen konnten ($n = 4$). Die zweite Gruppe bestand aus den Probanden, welche Stehen und Gehen ($n = 5$) oder nur Stehen ($n = 4$) absolvierten. Am stärksten war der Verlust des trabekulären Knochens bei den immobilen Probanden. Bei früher Mobilisation gab es einen geringeren Verlust an trabekulärem Knochen oder sogar einen minimalen Anstieg, der Unterschied zu den immobilen Probanden ist signifikant. Es besteht jedoch kein nachweisbarer Unterschied zwischen den zwei verschiedenen Interventionsmethoden. Die Änderungen im kortikalen Knochen sind klein und vernachlässigbar und differieren nicht in den verschiedenen Gruppen.

Beurteilung

Von den neunzehn eingeschlossenen Probanden konnten nur die Daten von dreizehn für die Auswertungen herangezogen werden. Auch konnten vier von diesen dreizehn Probanden die Intervention nicht so durchführen, wie sie geplant gewesen wäre. Deshalb ist die Drop-Out-Quote sehr hoch.

Da die wenigen Probanden mit einer Querschnittsymptomatik von ASIA A – D eine weite Breite an möglichen Patienten einschliessen (motorisch komplette und inkomplette Patienten), ist die Aussagekraft der Studie eher gering.

Die vielen Änderungen der Gruppenzusammensetzung in der Studie verkomplizieren die Aussagekraft.

Die verschiedenen Resultate des trabekulären und kortikalen Knochens lassen sich auf den pathologischen Knochenabbau bei Querschnittdiagnosen zurückführen.

Studie 2

Needham-Shropshire, Broton, Klose, Lebwohl, Guest und Jacobs (1997) untersuchten, ob mit Hilfe des Parastep® (Sigmedics Inc) eine Verbesserung der Knochendichte bei querschnittgelähmten Patienten erreicht werden kann.

An der Studie nahmen 16 Probanden teil, wovon 13 Männer und drei Frauen waren. Die Patienten hatten eine motorisch und sensorisch komplette Querschnittläsion (ASIA A) zwischen T4 – T11 sechs Monate nach dem Unfall. Vor der Intervention wurden die Probanden vom einem Physiotherapeuten auf allfällige physische Einschränkungen untersucht, und auch die unteren Extremitäten wurden von einem orthopädischen Chirurgen mittels Röntgen auf ihre Unversehrtheit untersucht.

Die Intervention wurde mit einem Parastep® (ähnlich einem Laufband) und funktionaler neuromuskulärer Stimulation durchgeführt. Die Elektroden wurden am M. quadriceps und den Mm. glutei befestigt um die Knie- und Hüftextension zu stimulieren, und in der Region des N. peroneus communis für die Schrittauslösung. Die Frequenz war 24 Hz mit einer Pulsweite von 150 µsec und einer anpassbaren Intensität von 0 mA bis 300 mA. Die Funktion „Stehen“ wurde mit einer Intensität von 140 mA erreicht. Einige Probanden hatten für die Stabilität des Fussgelenkes eine Fussheberorthese an. Die Probanden führten das Training dreimal wöchentlich mit einem Total von 32 Trainingseinheiten aus. Die Distanz und Dauer jeder Einheit konnte selbst gewählt werden. Die Probanden führten bis zu drei Sessions pro Trainingseinheit aus mit 15 – 20 Minuten Pause dazwischen.

3. Hauptteil

Die Knochendichte des Femurhalses, des Trochanter und des Wardschen Dreiecks wurde mittels eines DP3 dual-photon Densitometer vor Beginn der Studie, nach erfüllten 32 Trainingseinheiten, und bei 14 Probanden nochmals nach weiteren acht Wochen gemessen.

Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in der BMD vor und nach der Intervention gefunden.

Beurteilung

Die Intervention wurde sehr genau beschrieben und ist somit gut nachvollziehbar.

Da als Therapiegerät ein Parastep® benützt wurde, ist fraglich, ob die Daten auch auf andere ähnliche Interventionsgeräte übertragen werden können.

Die kurze Interventionsdauer von 10,5 Wochen könnte zu kurz sein, um einen Effekt auf die Knochendichte zu erzielen.

Studie 3

Goemare, Van Laere, De Neve und Kaufmann (1994) untersuchten die Knochendichte bei komplett querschnittgelähmten Patienten, welche eine Intervention mit oder ohne Stehen durchführten.

An der Studie nahmen 53 Probanden teil, davon 42 Männer und elf Frauen. Die Kontrollgruppe (N = 53) bestand aus gesunden Probanden, passend in Alter und Geschlecht zur Interventionsgruppe. Einschlusskriterien waren eine komplette Querschnittsdiagnose seit mindestens einem Jahr, Rollstuhlabhängigkeit, jedoch keine Bettlägrigkeit und mindestens sechs Punkte im Funktionalen Selbständigkeitsindex (FIM). Ausgeschlossen waren postmenopausale Frauen, Personen jünger als zwanzig Jahre und eine vorhandene Einnahme von Biphosphonaten (haben Einfluss auf die Knochendichte).

Die Aufteilung der Probanden auf die verschiedenen Steh-Interventionsmethoden erfolgte wie folgt:

- Lange Beinschiene (n = 20)

- Stehtisch (n = 9)
- Rollstuhl mit Stehmöglichkeit (n = 9)
- Kein Stehen (n = 15)

Da nicht alle Probanden regelmässig fünfmal pro Woche eine Stunde standen, wurden die Probanden für die Resultatauswertung zuerst in drei Gruppen (regelmässiges, unregelmässiges und kein Stehen) eingeteilt. Da bei den beiden Gruppen regelmässiges (n = 20) und unregelmässiges (n = 18) Stehen keine Differenzen bezüglich BMD in den Ergebnissen erkennbar waren, wurden sie in einer Gruppe zusammengefasst (pooled group mit n = 38).

Die Knochendichte der LWS und der Hüfte (Trochanter, Femurhals, Femurschaft) wurden mittels DEXA gemessen.

Der proximale Femur und der Femurschaft der Interventionsgruppe zeigte eine signifikant reduzierte Knochendichte im Vergleich zur Kontrollgruppe (33% und 25% vermindert). Ein statistisch signifikanter und teilweise präventiver Effekt vom Stehen bezüglich Knochenverlusts konnte beim Femurschaft nachgewiesen werden, aber nicht an der Hüfte (Tabelle 5). Jedoch hatten Probanden, welche lange Beinschienen als Stehmöglichkeit benutzten, beim Trochanter und der totalen Hüftregion einen signifikant höheren BMD als Probanden, welche andere Stehmöglichkeiten benutzten (Tabelle 6). Die Korrelation zwischen Krankheitsdauer und Knochendichte war nur im Femurschaft signifikant (p = 0.004).

	Kontrollgruppe	Stehen	Kein Stehen
Proximaler Femur	1.02 ± 0.14	0.71 ± 0.13	0.70 ± 0.17
Femurschaft	1.85 ± 0.17	1.46 ± 0.19	1.31 ± 0.28

Tabelle 5: Knochendichte (BMD) in g/cm²

3. Hauptteil

	Lange Beinschiene	Stehtisch	Rollstuhl mit Stehmöglichkeit
Trochanter	0.59 ± 0.10	0.54 ± 0.09	0.48 ± 0.08
Totale Hüftregion	0.76 ± 0.13	0.67 ± 0.11	0.59 ± 0.09

Tabelle 6: Knochendichte (BMD) in g/cm^2

Beurteilung

Dadurch, dass 15 Probanden die Intervention nicht durchführten, reduzierte sich die Zahl der teilnehmenden Probanden auf $n = 38$.

Aus der Studie ist nicht ersichtlich wie lange die Interventionsdauer war und wann die BMD-Messungen durchgeführt wurden. Somit ist die Studie auch schlecht nachvollziehbar.

Da der Femurschaft mehr Kortikalis hat als die Hüftregion, die Übertragung der Kraft im kortikalen und trabekulären Knochen unterschiedlich ist und Knochenänderung in der Kortikalis schneller sichtbar sind, könnte dies eine Erklärung für den gefundenen Effekt darstellen.

3.6. Diskussion der Ergebnisse

Vorangehend wurden mehrere Interventionsmöglichkeiten aufgezeigt, welche Physiotherapeuten anwenden können, um einen Einfluss auf die Knochendichte der unteren Extremität bei querschnittgelähmten Patienten zu nehmen. Die Qualität und Anzahl der Studien zu den einzelnen Methoden ist unterschiedlich, wie in den kurzen Beurteilungen der einzelnen Studien nachzulesen ist. Mehrere Studien konnten keinen positiven Effekt der angewendeten Intervention aufzeigen.

Ultraschall und funktionelle elektrische Stimulation

Eine rein passive Anwendung mittels Ultraschall oder funktioneller elektrischer Stimulation erwies sich in zwei Studien als nicht wirksam, um einen positiven Einfluss auf den Knochendichteabbau zu nehmen. Beide Studien setzen die Intervention so früh als möglich nach dem Unfall an, da in der Anfangsphase einer Querschnittlähmung der grösste BMD-Verlust stattfindet. Ein ausbleibender positiver Effekt ist nicht

gleichzusetzen mit der Annahme, dass die Interventionen gar nicht wirksam seien. Um diese beiden Arten von Behandlung als Osteoporose-Prävention oder –Behandlung bei Querschnittlähmung gänzlich ausschliessen zu können, bedarf es noch weiterer Untersuchungen mittels anderen Einstellungen und Ansatzorten des Ultraschalls und der funktionellen elektrischen Stimulation. Die beiden Studien hierzu untersuchten dies zu wenig systematisch. Ebenfalls sollte das Verhalten dieser Methoden bei Patienten mit schon bestehender Osteoporose, um einen eventuellen Knochenaufbau zu stimulieren, noch untersucht werden.

Fahrradergometer mittels funktioneller elektrischer Stimulation

Zu dieser Methode hatte ich bei der Literaturrecherche die grösste Auswahl an Studien, deshalb habe ich in meiner Arbeit die drei qualitativ besten Studien eingeschlossen. Jedoch ist die Vergleichbarkeit der Resultate der drei Studien untereinander erschwert, da der zeitliche Beginn der Intervention, die Messpunkte der Knochendichte und die Intensität der Behandlung jeweils unterschiedlich sind (Tabelle 7).

- Eser et al. (2003) starteten die Intervention, sobald die Probanden im Rollstuhl sitzen konnten und führten dreimal 30 Minuten Training pro Woche über durchschnittlich sechs Monate durch. Der Messpunkt der BMD befand sich nur im rechten mittleren Tibiaschaft.

Da bei den akuten Patienten nur der Tibiaschaft auf die Veränderung der Knochendichte untersucht wurde und nur ein Trend bezüglich verlangsamter BMD-Abnahme festgestellt werden konnte, empfinde ich diese Studie als nicht aussagekräftig. Der Tibiaschaft besteht hauptsächlich aus kortikalem Knochen und daher fehlen Messpunkte an Knochenteilen mit trabekulärem Knochen. Meiner Meinung nach hätte die Studie bessere Ergebnisse vorweisen können, sofern zumindest Messungen am distalen Femur oder der proximalen Tibia stattgefunden hätten.

- Chen et al. (2005) hatten nur Probanden in ihrer Studie, bei welchen der Unfall mindestens zwei Jahre und sieben Monate zurücklag. Die Trainingsin-

3. Hauptteil

tensität lag bei dreissig Minuten pro Tag, fünf Tage die Woche, über sechs Monate.

- Bei Mohr et al. (1997) lag die durchschnittliche Anzahl Jahre nach Unfall der Probanden bei Interventionsbeginn bei 12.5 Jahren. Die Probanden trainierten in den ersten zwölf Monaten dreimal pro Woche und danach für weitere sechs Monate einmal wöchentlich dreissig Minuten.

Beide Studien begannen mit der Intervention, als die grösste Abnahme des trabekulären Knochens schon stattgefunden hatte. Dies kann mit ein Grund für die guten und klinisch relevanten Ergebnisse in Knochenanteilen mit viel trabekulärem Knochen sein. Beide Studien weisen ähnliche Resultate auf und konnten einen signifikanten Anstieg der BMD bei der proximalen Tibia verzeichnen. Dies wohl aus dem Grund, da in der Knieregion beim Fahrradfahren die Belastung am grössten ist und sich auch die Ansätze der stimulierten Mm. quadriceps an der proximalen Tibia befinden. Jedoch verschwand diese Zunahme an BMD wieder, sobald die Intervention gestoppt oder mit weniger Trainingseinheiten pro Woche trainiert wurde. Die eine Studie (Chen et al., 2005) mass auch die Knochendichte des distalen Femurs, bei welchem nach der Intervention ebenfalls eine signifikante BMD-Zunahme stattfand, und des Calcaneus, welcher einen leichten Trend zur Verbesserung der Knochendichte aufwies. Als mangelhafter Punkt bei beiden Studien ist jedoch zu erwähnen, dass die Zahl der Probanden gering war. Deshalb sollte für eine stärkere Aussagekraft dieser guten Ergebnisse eine grösser angelegte Studie mit ähnlichem Aufbau gemacht werden.

Studie	Anzahl Probanden	Beginn Studie	Studiendauer	Trainingsintensität	Messpunkte
Eser et al. (2003)	N = 44	Sobald als möglich nach dem Unfall	6 Monate	3x wöchentlich 30 min	Tibiaschaft
Chen et al. (2005)	N = 30 Intervention: n = 15 Kontrolle: n = 15	Mind. 2 Jahre und 7 Monate nach Unfall	6 Monate	5x wöchentlich 30 min	LWS Femurhals distaler Femur proximale Tibia Calcaneus
Mohr et al. (1997)	N = 10	Durchschnittlich 12.5 Jahre nach Unfall	12 Monate Intervention ----- 6 Monate Intervention	3x wöchentlich 30 min ----- 1x wöchentlich 30 min	LWS Femurhals proximale Tibia

Tabelle 7: Kurzüberblick über Interventionen und Messpunkte.

Stehen und Gehen

Es sind drei Studien mit unterschiedlichen Ergebnissen, jedoch auch differierenden Therapiemethoden vorhanden. Auch ist bei allen Studien der Beginn der Intervention etwas unterschiedlich.

- Needham-Shropshire et al. (1997) schlossen nur Probanden ein, bei welchen der Unfall mindestens sechs Monate zurück lag. Es wurden 32 Trainingseinheiten mit dem Parastep® durchgeführt und die Messpunkte lagen am Femurhals und am Trochanter.

Diese Studie konnte keine signifikanten BMD-Unterschiede vor und nach der Intervention aufzeigen. Der Grund für das Ausbleiben von positiven Resultaten könnte in einer zu geringen Anzahl an Trainingssessions stecken. Auch könnte es sein, dass die axiale Belastung beim Gehen mittels Parastep® in der Standphase zu gering war. Interessant wäre zu wissen, wie es mit der Knochendichte in der proximalen Tibia und im distalen Femur aussieht. Dies aus dem Grund, da wie beim Fahrradergometer mittels funktioneller elektrischer Stimulation auch Elektroden zur Stimulation der Gangphasen am M. quadriceps platziert wurden. Um weitere Ergebnisse zu erhalten und diese Intervention definitiv als unwirksam zu verwerfen,

3. Hauptteil

sollten weitere Studien, auch mit anderen Gerätetypen, gemacht werden. Denn mittels des Schlusssatzes dieser Studie „it is possible that exercise will be a necessary, but insufficient, intervention in solving the problem“ wird meines Erachtens nicht nur auf den Parastep® verwiesen, sondern allgemein auf therapeutische Interventionsmöglichkeiten.

- Goemare et al. (1994) schlossen nur Probanden mit einer Krankheitsdauer länger als zwölf Monate in ihrer Studie mit ein. Die Probanden absolvierten drei verschiedenartige Stehtrainings über einen unbekannten Zeitraum. Die Messpunkte lagen an der LWS und der Hüfte.

Alle drei Stehtrainings hatten einen signifikanten positiven Einfluss auf den Knochenmassenverlust im Femurschaft. Probanden, welche das Steh-Training mittels langen Beinschienen absolvierten, hatten im Gegensatz zu den anderen Interventionsmethoden, auch einen Anstieg der BMD beim Trochanter.

Auch in dieser Studie wäre es interessant zu wissen, wie sich die Knochendichte in der Knieregion und bei der Ferse verhält. Da bei der Behandlungsmethode mittels Stehtraining kein Gewicht abgenommen wird (zumindest steht nichts davon in der Studie), sollte auf diesen Regionen eine axiale Belastung stattfinden. Die Studie ist mit 53 Probanden ziemlich gross angelegt, was die Aussagekraft der gemessenen Daten unterstützt.

- De Bruin et al. (1999) setzten Ihre Intervention so früh wie möglich nach dem Unfall an. Es wurden Trainings mit Gehen und Stehen durchgeführt und Messungen wurden an der Tibia beim Fussgelenk und der Diaphyse durchgeführt.

Diese Studie gibt an, dass die beiden Interventionsmethoden Gehen und Stehen bezüglich Resultaten gleichzusetzen seien, auch wenn die beiden vorangehenden Studien hierzu andere Resultate zeigen. Im trabekulären Knochen (Fussgelenk) konnte die frühzeitige Intervention den Knochendichteverlust verlangsamen oder sogar einen moderaten Anstieg des BMD verzeichnen. Dies führe ich auf die axiale Belastung zurück.

Abschliessend kann bemerkt werden, dass es schwierig ist die einzelnen Studien untereinander zu vergleichen, da die Interventionsmethoden doch sehr unterschiedlich sind, fast jede Studie einen anderen Zeitpunkt für den Beginn ihrer Intervention hat und die Messpunkte für die Resultate nicht einheitlich an denselben Orten angesetzt werden. Ein ganz zentraler Punkt, den man bei allen Studien beachten sollte ist, dass oft Probanden mit kompletter und inkompletter Querschnittlähmung in der Studie gemischt werden. Für zuverlässige Resultate, sollten einheitliche Studien mit komplett querschnittgelähmten Probanden durchgeführt werden.

4. Schlussteil

4.1. Conclusion

Fahrradergometer mittels funktioneller elektrischer Stimulation sollte, bis zum heutigen Wissensstand, wohl die Therapie der Wahl eines Physiotherapeuten sein, um Einfluss auf die Knochendichte in den unteren Extremitäten eines querschnittgelähmten Patienten zu nehmen. Es stellt sich aber wie bei allen Interventionen in der Physiotherapie immer die Frage nach der Durchführbarkeit. Ist es möglich für einen querschnittgelähmten Patienten diese Therapie auch selbständig durchzuführen, sobald er aus der intensiven Rehabilitationszeit entlassen ist? Wie häufig ist diese Therapie durchzuführen und kann sie gut in den Alltag des Patienten integriert werden?

Aus rein diesen Überlegungen ist wohl eine Therapie mittels Stehen am geeignetsten, um sie auch nach der Entlassung aus der Rehabilitationsklinik weiterführen zu können.

Es müssen jedoch auch immer die Präferenzen des Patienten berücksichtigt werden und Vorlieben einzelner Interventionsmethoden unterstützt werden. Schliesslich sind alle Therapien, um eine optimale Wirkung auf den Knochenmetabolismus zu erzielen, ein Leben lang durchzuführen. Dies braucht Durchhaltewillen!

4.2. Offene Fragen

Es gibt noch viele Fragen, welche offen stehen und in weiteren Studien untersucht werden sollten. Eine fundamentale Frage stellt sich über den idealen Zeitpunkt des Therapiebeginns mittels einer spezifischen Intervention. Auch die exakte Dosierung um einen Effekt zu erzielen und ihn dann auch mit möglichst minimalem Aufwand halten zu können wären für eine ökonomische Therapie wichtig zu wissen. Und auch sollte in Zukunft darauf geachtet werden, in weiteren Studien eine genaue Trennung von motorisch kompletten und inkompletten Probanden zu machen, zumindest in der Auswertung der Ergebnisse. Auch sind in vielen Studien hauptsächlich männliche Probanden bevorzugt oder machen einen grösseren Teil der Studienteilnehmer aus. Es wäre wichtig zu wissen, ob sich die gefundenen Effekte auch auf Frauen übertragen liessen oder ob hierzu spezifische Studien erstellt werden müssen.

5. Literaturverzeichnis

- American Spinal Injury Association (ASIA) (Hrsg.) (2006). *STANDARD NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY* [On-Line]. Available: http://www.asia-spinalinjury.org/publications/2006_Classif_worksheet.pdf (11.6.2009).
- Bartl, R. (2008). *Osteoporose. Prävention – Diagnostik – Therapie*. Stuttgart: Thieme Verlag KG.
- Chen, S.-C., Lai, C.-H., Chan, W. P., Huang, M.-H., Tsai, H.-W., Chen, J.-J. J. (2005). Increases in bone mineral density after functional electrical stimulation cycling exercises in spinal cord injured patients. *Disability and Rehabilitation*, 27(22), 1337 – 1341.
- Clark, JM., Jelbart, M., Rischbieth, H., Strayer, J., Chatterton, B., Schultz, C., Marshall, R. (2007). Physiological effects of lower extremity functional electrical stimulation in early spinal cord injury: lack of efficacy to prevent bone loss. *Spinal Cord*, 45, 78 – 85.
- Dachverband der deutschsprachigen wissenschaftlichen Gesellschaften für Osteologie (DVO) e.V. (Hrsg.) (2006). *Osteoporose-Leitlinie. Prophylaxe, Diagnostik und Therapie – bei Frauen ab der Menopause, bei Männern ab dem 60. Lebensjahr*. Stuttgart: Schattauer.
- De Bruin, E. D., Frey-Rindova, P., Herzog, R. E., Dietz, V., Dambacher, M. A., Stüssi, E. (1999). Changes of Tibia Bone Properties after Spinal Cord Injury: Effects of early Intervention. *Arch Physical Medicine Rehabilitation*, 80, 214 – 220.
- Eser, P., de Bruin, E. D., Telley, I., Lechner, H. E., Knecht, H., Stüssi, E. (2003). Effect of electrical stimulation-induced cycling on bone mineral density in spinal cord-injured patients. *European Journal of Clinical Investigation*, 33, 412 – 419.

5. Literaturverzeichnis

- Eser, P., Frotzler, A., Zehnder, Y., Wick, L., Knecht, H., Denoth, J., Schiessl, H. (2004). Relationship between the duration of paralysis and bone structure: a pQCT study of spinal cord injured individuals. *Bone*, 34, 869 – 880.
- Giangregorio, L., McCartney, N. (2006). Bone Loss and Muscle Atrophy in Spinal Cord Injury: Epidemiology, Fracture Prediction, and Rehabilitation Strategies. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 29(5), 489 – 500.
- Goemaere, S., Van Laere, M., De Neve, P., Kaufmann, J. M. (1994). Bone Mineral Status in Paraplegic Patients who do or do not perform Standing. *Osteoporosis International*, 4, 138 – 143.
- Hepp, W. R., Debrunner, H. U. (2004). *Orthopädisches Diagnostikum*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- International Campaign for Cures of spinal cord Injury Paralysis (ICCP) (Hrsg.). (2007). *Experimentelle Therapien für Rückenmarksverletzungen: Was Sie wissen sollten wenn Sie an einer klinischen Studie teilnehmen möchten*. Vancouver, Kanada: Icord.
- Maïmoun, L., Fattal, C., Micallef, J.-P., Peruchon, E., Rabischong, P. (2006). Bone loss in spinal cord-injured patients: from physiopathology to therapy. *International Spinal Cord Society*, 44, 203 – 210.
- Menche, N. (Hrsg.) (2003). *Biologie Anatomie Physiologie*. München – Jena: Urban & Fischer Verlag.
- Mohr, T., Podenphant, J., Biering-Sorensen, F., Galbo, H., Thamsborg, G., Kjaer, M. (1997). Increased Bone Mineral Density after Prolonged Electrically Induced Cycle Training of Paralyzed Limbs in Spinal Cord Injured Man. *Calcified Tissue International*, 61, 22 – 25.
- Mummenthaler, M., Mattle, H. (2006). *Kurzlehrbuch Neurologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

- Needham-Shropshire, B. M., Broton, J. G., Klose, K. J., Lebwohl, N., Guest, R. S., Jacobs, P. L. (1997). Evaluation of a Training Program for Persons with SCI Paraplegia using the Parastep® 1 Ambulation System: Part 3. Lack of Effect on Bone Mineral Density. *Arch Physical Medicine Rehabilitation*, 78, 799 – 803.
- Roberts, D., Lee, W., Cuneo, R. C., Wittmann, J., Ward, G., Flatman, R., McWhinney, B., Hickmann, P. E. (1998). *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 83(2), 415 – 422.
- Sabo, D., Blaich, S., Wenz, W., Hohmann, M., Loew, M. (2001). Osteoporosis in patients with paralysis after spinal cord injury. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 121, 75 – 78.
- Wallesch, C.-W., Unterberg, A., Dietz, V. (2005). *Neurotraumatologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Warden, S. J., Bennell, K. L., Matthews, B., Brown, D.J., NcMeekend, J.M., Wark J.D. (2001). Efficacy of Low-intensity Pulsed Ultrasound in the Prevention of Osteoporosis Following Spinal Cord Injury. *Bone*, 29(5), 431 – 436.
- Zäch, G. A., Koch, H. G. (2006). *Paraplegie. Ganzheitliche Rehabilitation*. Basel: Karger.
- Zehnder, Y., Lüthi, M., Michel, D., Knecht, H., Perrelet, R., Neto, I., Kränzlin, M., Zäch, G., Lippuner, K. (2004). Long-term changes in bone metabolism, bone mineral density, quantitative ultrasound parameters, and fracture incidence after spinal cord injury: a cross-sectional observational study in 100 paraplegic men. *Osteoporosis International*, 15, 180 – 189.

6. Eigenständigkeitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe.“

Ort, Datum

Unterschrift

7. Danksagung

Ich möchte mich hiermit bei meiner Betreuerin Frau B. Fiechter Lienert bedanken, die mir während der ganzen Zeit zur Seite gestanden ist und mich bei den anfänglichen Motivationsschwierigkeiten tatkräftig unterstützt hat.

Des Weiteren gilt mein Dank auch Patric Strasser, ohne dessen Unterstützung ich den Endspurt wohl nur mit Mühe und Not hätte bewältigen können.

Auch meinen Freunden bin ich sehr dankbar, die mir Verständnis entgegenbrachten, wenn ich mal wieder nur ein Diskussionsthema zur Hand hatte oder lieber die Abende zu Hause vor dem Computer verbrachte.

Und natürlich auch meinen Eltern, die ihre Tochter während des ganzen Studiums auch in strengeren Zeiten „ertragen“ mussten und oft aufmunternde Worte parat hatten.

8. Anhang

8.1. Glossar

ASIA	American Spinal Injury Association
BMC	Bone mineral content: Knochenmineraldichte (<i>Knochenmineralgehalt</i> , bestimmt aus dem Mineralgehalt und der Volumenmessung, typischerweise in g/cm ³ angegeben)
BMD	Bone mineral density: Knochenmineraldichte (<i>Flächendichte</i> des Knochenminerals, typischerweise in g/cm ² angegeben)
Calcaneus	Ferse
Diaphyse	Schaft des Knochens
distal	vom Körperzentrum entfernt gelegen
Epiphyse	Knochenende
Femur	Oberschenkelknochen
Ischämie	Sauerstoffmangel
Kortex	Rinde des Knochens
LWS	Lendenwirbelsäule
Patella	Kniescheibe
proximal	zum Körperzentrum hin gelegen
Th	Thorax, Brust
Tibia	Schienbein
Trabekel	schwammigartiges Innengewebe, Bälkchen im Knochen
Trajektionslinien	die Trabekelstruktur der Spongiosa mit einer exakten Anpassung an die verschiedenen Belastungen, welchen diese Struktur standhalten muss.

8.2. Matrix der Studien für den Hauptteil

Warden, S. J., Bennell, K. L., Matthews, B., Brown, D.J., McMeekend, J.M., Wark J.D. (2001). *Efficacy of Low-intensity Pulsed Ultrasound in the Prevention of Osteoporosis Following Spinal Cord Injury*. Bone, 29(5), 431-436.

Study Purpose	Ziel / Fragestellung ist verständlich und relevant																																							
Literatur	Background Literatur vorhanden und wurde in der Einleitung verwendet - In vitro-Studien, Studien an Tieren, in vivo-Studien bei Knochenbrüchen. Es gab bis jetzt nur eine Studie bei intaktem Knochen (Arai, T., et al. (1993).)																																							
Design	RCT Intra-subjektivität, Doppelblind, randomisiert, Kontrollgruppe (anderer Ferse) → Patienten wurden informiert																																							
Sample	N=15 , Royal Talbot Rehabilitation Center Einschlusskriterien: 1-6mt SCI, ASIA Grad A oder B, keine motorische Kontrolle unter Th12, Ausschlusskriterien: Über 40 Jahre alt, nicht medizinisch stabil, nicht transportfähig, durften während 6 Wochen nicht aus Reha entlassen werden, vorbestehende Knochenerkrankung, verletzter Calcaneus, Einnahme von Medikamenten mit bekanntem Effekt auf den Knochen.																																							
Messinstrument	Quantitativer Ultraschall Dual-energy X-ray Absorptiometry (DEXA) → beide Messanlagen wurden mit 5 gesunden Individuen auf ihre Kurzzeit-Reliabilität geprüft																																							
Outcomes	BMC (Bone Mineral Content) Messung: Anfang und Ende der Studie → verblindeter Messer																																							
Intervention	Ultraschall, 20min/day, 5days/week → über 6 Wochen Medial und lateral am Calcaneus wurden zwei aktive US-Köpfe mit Gel-Pads befestigt und mit einer Aufspannvorrichtung in Position gehalten. Dasselbe wurde mit inaktiven US-Köpfen am anderen Calcaneus gemacht. Die zu behandelnden Stellen wurden mittels eines semipermeablen Skin-Marker gekennzeichnet, welcher während der ganzen Behandlungsdauer drauf blieb (in situ). → verblindete Patienten Der aktive Ultraschall bestand aus 10µsec Burst mit 1.0MHz und 3.3kHz. Intensität: 30mW/cm ² → diese Einstellung wurde gewählt, da sie in-Vitro die Osteoblasten beeinflusste, bessere Frakturheilung bei Tieren und Menschen zeigte und die BMD bei Osteoporosepatienten erhöhte. ERA (effective radiating area): 4.72-4.85 cm ² , BNR (beam nonuniformity ratio): 5.59-5.81. Die Wirksamkeit des US wurde wöchentlich getestet mittels: digital oscilloscope und dem US power meter. → es wurden während der Interventionszeit keine Abweichungen im US entdeckt.																																							
Results	Die Studie zeigt keine signifikante Wirkung des low-intensity Ultraschalls auf die BMC. Mittels ANOVA (p > 0.05) SCI hat einen signifikant negativen Einfluss auf die BMD. Table 2. Effect of low-intensity pulsed ultrasound (US) on skeletal measures of the calcaneum in individuals following spinal cord injury (mean ± SD) <table><tr><th rowspan="2">Skeletal measure</th><th colspan="2">Active-US-treated calcaneum</th><th colspan="2">Inactive-US-treated calcaneum</th><th colspan="3">ANOVA p values^a</th></tr><tr><th>Initial</th><th>Final</th><th>Initial</th><th>Final</th><th>Interaction</th><th>Time main effect</th><th>Treatment main effect</th></tr><tr><td>BMC (g)^b</td><td>1.76 ± 0.26</td><td>1.62 ± 0.26</td><td>1.74 ± 0.22</td><td>1.61 ± 0.21</td><td>0.617</td><td><0.001</td><td>0.693</td></tr><tr><td>BUA (dB/MHz)^c</td><td>80.4 ± 23.6</td><td>73.2 ± 20.2</td><td>83.5 ± 19.5</td><td>75.9 ± 17.2</td><td>0.752</td><td><0.001</td><td>0.315</td></tr><tr><td>SOS (m/sec)^c</td><td>1626.7 ± 39.1</td><td>1605.9 ± 47.6</td><td>1638.2 ± 44.6</td><td>1612.9 ± 41.7</td><td>0.544</td><td><0.001</td><td>0.129</td></tr></table> KEY: BMC, bone mineral content; BUA, bone ultrasound attenuation; SOS, speed of sound. ^a Two-way, two-repeated measures analysis of variance (ANOVA). ^b Measured using dual-energy X-ray absorptiometry. ^c Measured using quantitative ultrasound.	Skeletal measure	Active-US-treated calcaneum		Inactive-US-treated calcaneum		ANOVA p values ^a			Initial	Final	Initial	Final	Interaction	Time main effect	Treatment main effect	BMC (g) ^b	1.76 ± 0.26	1.62 ± 0.26	1.74 ± 0.22	1.61 ± 0.21	0.617	<0.001	0.693	BUA (dB/MHz) ^c	80.4 ± 23.6	73.2 ± 20.2	83.5 ± 19.5	75.9 ± 17.2	0.752	<0.001	0.315	SOS (m/sec) ^c	1626.7 ± 39.1	1605.9 ± 47.6	1638.2 ± 44.6	1612.9 ± 41.7	0.544	<0.001	0.129
Skeletal measure	Active-US-treated calcaneum		Inactive-US-treated calcaneum		ANOVA p values ^a																																			
	Initial	Final	Initial	Final	Interaction	Time main effect	Treatment main effect																																	
BMC (g) ^b	1.76 ± 0.26	1.62 ± 0.26	1.74 ± 0.22	1.61 ± 0.21	0.617	<0.001	0.693																																	
BUA (dB/MHz) ^c	80.4 ± 23.6	73.2 ± 20.2	83.5 ± 19.5	75.9 ± 17.2	0.752	<0.001	0.315																																	
SOS (m/sec) ^c	1626.7 ± 39.1	1605.9 ± 47.6	1638.2 ± 44.6	1612.9 ± 41.7	0.544	<0.001	0.129																																	

	<p>Eventuelle Gründe, warum keine Signifikanz gezeigt werden konnte:</p> <p>Kurze Interventionsdauer (6 Wochen) → es wird jedoch angenommen, dass die Zeitdauer reichen sollte, um einen vorbeugenden Effekt aufzuzeigen. → konnte nicht gezeigt werden.</p> <p>Statistische Power: bei 15 Probanden gibt es eine 80% Wahrscheinlichkeit, dass ein Unterschied von 2.8% bei aktiver und inaktiver US-Behandlung entdeckt werden kann. → zeigt klar: Abwesenheit eines Vorbeugenden Effektes von US mit der angegebenen Intervention auf den Knochenschwund beim Calcaneus bei SCI-Patienten.</p> <p>Nur kleiner Teil des Calcaneus behandelt (2%) → Reflexion der Ultraschallwellen an der kortikalen Schale (akustische Eigenschaften des Knochens verhindern Ausbreitung in den intakten Knochen).</p> <p>Der Aufbau des Calcaneus (innen: Trabekelstruktur, aussen: dünne kortikale Schale) ist vergleichbar mit dem distalen Femur und der proximalen Tibia.</p> <p>Die mechanical loading des US ist nicht genügend um die Stärke des Knochens zu beeinflussen.</p> <p>In the acute stages following SCI, bone loss is predominantly due to loss of trabecular bone with cortical bone showing a delayed loss. → diese Pathomechanik kann Einfluss auf Abwesenheit einer Signifikanz haben. → intakter Knochen zeigt andere Antwort auf US als eine Fraktur (Eintrittsstelle durch die kortikale Schale für US?)</p> <p>Nur 15 Testpersonen.</p>
Statistische Tests	ANOVA
Drop Outs	Keine Erwähnung
Conclusion	→ nicht relevant mit dieser US-Dosis für Therapie bei SCI (evtl. bei anderen Osteoporose-Patienten oder in anderer US-Dosis)

Clark, JM., Jelbart, M., Rischbieth, H., Strayer, J., Chatterton, B., Schultz, C., Marshall, R. (2007). Physiological effects of lower extremity functional electrical stimulation in early spinal cord injury: lack of efficacy to prevent bone loss. *Spinal Cord*, 45, 78-85.

Study Purpose	Ziel / Fragestellung ist verständlich und relevant, Ergebnis (keine Wirkung der Intervention) wird schon im Titel vorweggenommen.
Literatur	<p>Es ist viel Background-Literatur vorhanden.</p> <p>Bis jetzt gibt es zahlreiche sich widersprechende Beweise bezüglich elektrischer Muskelaktivierung und deren Stimulation des Knochenmetabolismus und über die klinische Rolle der FES in der Behandlung von Osteoporose bei neurologischen Schäden.</p> <p>Auch ist unklar, zu welchem Zeitpunkt mit einer Therapie gegen Osteoporose begonnen werden soll. (grösster Knochenmassenverlust: 6-18mt nach Unfall)</p>
Design	<p>Non randomised, Controlled, repeat-measures design</p> <p>Keine Verblindung: ethische Gründe, da man Rehabilitation bei den Patienten der Kontrollgruppe nicht weglassen kann, und da aufgrund von Muskelkontraktionen kein Placebo möglich ist.</p>

Sample	<p>N=33, Spinal Injuries Unit of the Royal Adelaide Hospital (SIU) 1997-2001</p> <p>→ 44 Patienten lehnten Teilnahme an Studie ab</p> <p>Patienten mit akutem ASIA A-D</p> <p>FES: n=23, CON: n=10 (keine signifikanten Altersunterschiede, male-Anteil höher, jedoch in beiden Gruppen Geschlechter zu gleichen Teilen)</p> <p>Einschlusskriterien:</p> <p>Frauen und Männer, Alter: 18-55 Jahre, SCI über L1</p> <p>Ausschlusskriterien:</p> <p>Bekannte Osteoporose, Frakturen in den unteren Extremitäten oder im Becken, Medikamente welche den Knochenmetabolismus beeinflussen, vorhandene Kontraindikationen für FES-Therapie.</p> <p>3 Wochen nach dem Unfall wurden am M. quadriceps femoris und am M. tibialis anterior elektrische Stimulationen mit 30Hz durchgeführt um zu schauen, ob ein Tetanus ausgelöst werden kann. Es wurden nur Patienten in die Studie aufgenommen, welche diesen Kriterien genügten.</p>
Messinstrument	<p>DEXA (wöchentliche Kontrolle der Präzision des Messgerätes mittels aluminium spine phantom, CV (Coefficient of variability: 0.5% total body, 2% hip, 4% spine für BMD)</p> <p>→ verblindeter Messer</p> <p>→ geringe Strahlenbelastung (im ggs zu CT)</p>
Outcomes	<p>BMD für ganzen Körper, UE, LWS (L 2-4), Femurhals und proximalen Femur der linken Körperhälfte (confounding variable) bestimmt.</p> <p>Zeitpunkt der Messungen: Eintritt (3 Wochen nach Unfall), 6 Wochen, 3 mt und 6 mt nach Unfall</p> <p>PA (Protocol Adherence) ergibt Prozent der kummulierten Übungsstunden</p>
Intervention	<p>Elektroden wurden unilateral am M. quadriceps femoris und am M. tibialis anterior angebracht.</p> <p>Erste 2 Wochen waren eine Vorbereitungsphase, in der auch die Vitalzeichen (Blutdruck, Herzfrequenz und Sauerstoffsättigung) gemessen wurden, welche keine Abnormalitäten aufzeigten.</p> <p>Danach wurde mit einem Stimulation:Pause Verhältnis von 4:8s gearbeitet für 15min an der einen Extremität und danach an der anderen Extremität (2x 15min Session pro Tag pro Extremität, 5 Tage die Woche über 5mt mit dem Knie in 20° Flexion und halbliegender Wirbelsäulen Position.)</p> <p>Ein Physiotherapeut zeichnete die wöchentlich zusammengefassten Übungen auf.</p> <p>→ im Schnitt erfüllten die Patienten 3h Training in der Woche (61% der vorausgesetzten Stunden)</p> <p>Intervention described in Detail: Yes</p> <p>Contamination was avoided: Not addressed</p> <p>Cointervention was avoided: No</p>
Results	<p>BMD:</p> <p>Signifikanter Unterschied in total body BMD nach 3mt ($p < 0.01$). Hebt sich nach 6mt wieder auf!</p>

8. Anhang

	Sonst keine signifikanten Unterschiede zwischen der FES und CON Gruppe! Body fat mass: Kein signifikanter Unterschied während ganzer Intervention
Statistische Tests	Intention to treat t-test nach jeder Messung um Zwischen-Gruppen-Effekte zu messen.
Drop-Outs	FES: 6 CON: 3
Conclusion	Über Reliabilität und Validität nichts ausgesagt/beschrieben BMD von proximaler Tibia und distalem Femur nicht gemessen, aufgrund von kommerziellen Einschränkungen der DEXA software. Medikamente: Glucocorticoid hat Effekt auf Knochenstärke → Dosis und Länge der Therapie? Die Unterschiede in der Erholung der einzelnen Patienten bezüglich der Muskelstärke, erklären die Schwäche der Zwischen-Gruppen-Effekte der Studie nicht. → eventueller Grund für fehlen einer therapeutischen Relevanz: Typ 2 Fehler (Protokollunachtsamkeiten) oder tiefe statistische Stärke. → Dosis und Anwendung: subtherapeutisch (Muskelatrophie und nur kleine Muskelmasse durch FES aktiviert)

Chen, S.-C., Lai, C.-H., Chan, W. P., Huang, M.-H., Tsai, H.-W., Chen, J.-J. J. (2005). *Increases in bone mineral density after functional electrical stimulation cycling exercises in spinal cord injured patients*. Disability and Rehabilitation, 27(22), 1337-1341.

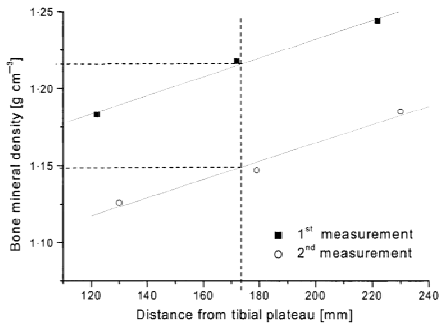
Study Purpose	Ziel/Fragestellung ist verständlich und relevant → es wird aber auch der Langzeiteffekt (nach 6mt) gemessen.
Literatur	Background-Literatur vorhanden Elektrostimulation an Ratten und Hasen zeigte eine signifikante Wirkung auf den trabekulären Knochen. FESCE-Studien wurden gemacht, aber mit kontroversen Daten.
Design	Cohortenstudie → es wird nichts über Randomisierung der Patienten ausgesagt! Es wird nicht erwähnt, wo und wie Patienten rekrutiert wurden. Patienten wurden über Risiken und Wirkungen informiert.
Sample	N=15 SCI-Group: n=15, CON-Group: n=15 (alles Männer, mean age: 28.6) Einschlusskriterien SCI-Group: Mindestens 2 y und 7mt nach Unfall, neurologisch stabil, komplette Läsion zw C5 und T8, Muskelantwort auf FESCE, noch nie FES-Therapie.

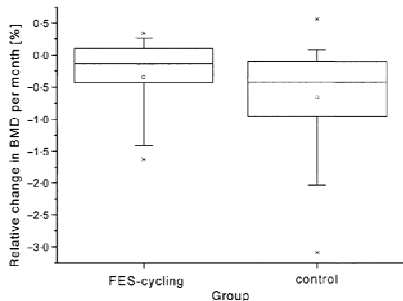
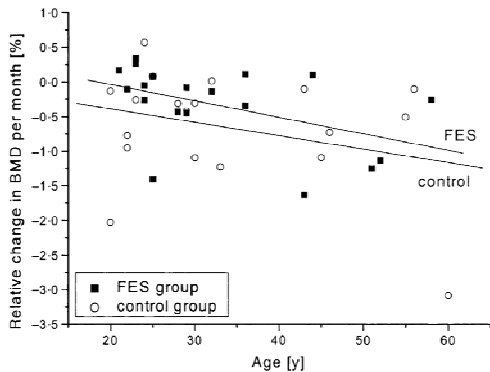
	<p>Ausschlusskriterien SCI-Group:</p> <p>Metall in UE, kürzliche Frakturen, starke Spastik, eingeschränkte ROM (bezgl Cycling), heterotope Ossifikation, Herzkreislauf oder pulmonale Beschwerden, in psychischer Behandlung.</p> <p>CON-Group: 15 gesunde Probanden, im gleichen Alter</p>
Messinstrument	<p>DEXA</p> <p>(15 gesunde Probanden wurden 2x im Abstand von 1 Woche als Referenzwert getestet: CV (Coefficients of variation) 1% bei L2-L4, 1.6% bei Femurhals (FN), 1.4% bei distalem Femur (DF), 1.1% bei proximaler Tibia (PT) und 1.7% beim calcaneus.</p>
Outcomes	<p>BMD:</p> <p>LWS L2-L4, rechter Femurhals, distaler Femur, proximale Tibia und Calcaneus</p> <p>Messung: Anfang der Studie, am Ende der 6mt FESCE und 6mt nach Beendigung FESCE</p>
Intervention	<p>Es wurde zuerst eine Teststimulation des M. quadriceps und der Mm. ischiocrurales durchgeführt um die Muskelkontraktion zu testen und so das selbständige Fahrradfahren ohne manuelle Hilfe zu gewährleisten (→ es wird nicht erwähnt, ob alle Probanden diesen Test bestanden haben!)</p> <p>Elektroden: 7x5 cm</p> <p>FES: Frequency 20Hz, Dauer 300µsec, Intensität 120mA → Parameter kontrolliert durch eine Entwicklung von Professor Chen (Reliabilität und Validität nicht erwähnt!)</p> <p>Aktive Elektroden wurden auf beiden Mm. ischiocrurales und M. Quadriceps geklebt (individuell), für rhythmische Pedalbewegung. (→ Elektroden immer am genau gleichen Ort? → Vorreinigung mit Alkohol?)</p> <p>Referenz-Elektroden wurden 2cm proximal der Patella und 2cm proximal der Fossa poplitea angebracht.</p> <p>FESCE wurde in sitzender Position ausgeführt mit minimalem Widerstand für 30minuten pro Tag, 5 Tage die Woche, 6 Monate.</p>
Results	<p>Zu Beginn der Studie war der Unterschied der BMD der SCI und CON Gruppe in FN, DF, PT und calcaneus signifikant unterschiedlich. In der LWS gab es keinen signifikanten Unterschied.</p> <p>Nach 6mt Intervention stieg die BMD in der SCI Gruppe im DF (mean: $11.13 \pm 0.8\%$) und PT (mean: $12.92 \pm 2.24\%$) signifikant im Vergleich zu Beginn der Studie.</p> <p>Jedoch verschwand der signifikante Effekt nach 6mt ohne Intervention wieder!</p> <p>Calcaneus zeigte nur leichten Trend einer Verbesserung der BMD während der Intervention auf.</p> <p>Die LWS zeigte während des ganzen Jahres keine signifikanten Veränderungen.</p>

	Table II. Bone mineral density (BMD, g/cm³) (mean ± SD) of SCI subjects before functional electric stimulation cycling exercises (FESCE), after six months of FESCE, and six months after discontinuing FESCE and the BMD of able-bodied subjects.			
	Able-bodied Subjects	Before FESCE in SCI subjects	After six months of FESCE in SCI subjects	Six months after discontinuing FESCE in SCI subjects
L2-4	1.0470 ± 0.0750	1.0473 ± 0.1360	1.0487 ± 0.1390	1.0483 ± 0.1422
FN	0.9232 ± 0.1056	0.6847 ± 0.0648 ^a	0.6695 ± 0.0716	0.6249 ± 0.0609 ^c
DF	1.1812 ± 0.1306	0.7177 ± 0.0662 ^a	0.7975 ± 0.0703 ^a	0.7077 ± 0.0637 ^c
PT	1.0499 ± 0.1123	0.5333 ± 0.0786 ^a	0.6248 ± 0.0855 ^a	0.5447 ± 0.0765 ^c
Heel	0.6678 ± 0.0672	0.3474 ± 0.0481 ^a	0.3586 ± 0.0480	0.3245 ± 0.0449 ^c
^a p < 0.05; difference between the BMD of able-bodied and the initial BMD of SCI subjects. ^b p < 0.05; difference between the values after six months of FESCE and those before FESCE in SCI subjects. ^c p < 0.05; difference between the values after six months of discontinuing FESCE and those after six months of FESCE in SCI subjects. L2-4: lumbar spine 2-4, FN: femoral neck, DF: distal femur, PT: proximal tibia, heel: calcaneus.				
Statistische Tests	Wilcoxon Signed-Rank test (stat. Sign. bei 0.005): Unterschiede im BMD beider Seiten zu messen. Mann-Whitney U-Test: Differenz zw beiden Gruppen zu messen.			
Drop Outs	Es werden keine Drop Outs genannt			
Conclusion	Der signifikante Anstieg in DF und PT nach 6mt Intervention ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass es direkt der Kraft des Fahrradfahrens und der elektrischen Stimulation ausgesetzt war. Warum nahm die BMD in FN während der Intervention ab und danach sogar signifikant? Gründe: Sitzposition und daher weniger Krafteinwirkung? Calcaneus: keine elektrische Stimulation am Calcaneus? → wenige Probanden (N)!!!			

Eser, P., de Bruin, E. D., Telley, I., Lechner, H. E., Knecht, H., Stüssi, E. (2003). *Effect of electrical stimulation-induced cycling on bone mineral density in spinal cord-injured patients*. European Journal of Clinical Investigation, 33, 412-419.

Study Purpose	Ziel / Fragestellung ist verständlich und relevant
Literatur	Background-Literatur vorhanden. Es gab schon einige FESCE-Studien, jedoch mehrheitlich bei chronischen SCI Patienten und nach mehr als 2 Jahre nach dem Unfall. → ohne positivem Resultat Da der Knochenabbau bei SCI Patienten in den ersten 2 Jahren am grössten ist, könnte eine „loading-imposing Intervention“ gleich nach dem Unfall einen grösseren Effekt haben.
Design	Cohort Design → Patienten konnten Gruppe selbst auswählen! (aus ethischen Gründen) → FESCE Gruppe war schneller voll!
Sample	N=44 , Swiss Paraplegic Center Nottwil (Homogenität der Gruppen in Geschlecht (jede Gruppe 2 Frauen), Alter (mean I-Group: 32.9, mean C-Group: 33.8), Läsionslevel) Einschlusskriterien:

	<p>SCI ASIA A und B, zw C5 und T12</p> <p>Ausschlusskriterien:</p> <p>Frakturen der UE nach SCI, Thrombose, Kontrakturen, eingeschränkte ROM in Knie und Hüfte, Krankheiten welche den Knochenmetabolismus beeinflussen</p>
Messinstrument	<p>Computer Tomograph (CT)</p> <p>Mittels Siemens-Phantom kalibriert</p>
Outcomes	<p>BMD des rechten mittleren Tibiaschaftes</p> <p>Vorgehen: Länge der Tibia vom Plateau bis Malleolus gemessen, dann einen Scan in der halben Länge gemacht. 5cm distal und proximals des Scans wurde nochmals ein Scan gemacht (Dicke des Schnittes: 1mm)</p> <p>Aus diesen 3 Scans wurde die BMD ausgerechnet.</p> <p>→ es gab immer eine 2. Messung mit einem anderen Untersucher!</p> <p>→ exakte Positionierung der Schnitte sehr wichtig, da mit grösserem Abstand zum Tibiaplateau die BMD linear zunimmt (partieller Volumen-Effekt)</p>  <p>CV: (mit 2 gesunden Probanden, 3x gemessen) 1.7%</p> <p>Messung: asap nach dem Unfall und nach Ende der Intervention (4-9mt nach dem ersten CT-Scan)</p>
Intervention	<p>Training mit: SimMaster cycle ergometer</p> <p>Die Probanden starteten mit dem FESCE training, sobald sie im Rollstuhl sitzen konnten (zw 4-8 Wochen nach Unfall, 1 Proband nach 3mt)</p> <p>Elektroden: M. quadriceps, Mm. ischiocrurales, Mm. glutaiei</p> <p>Stimulationsintensität: 140mA, Puls: 0.3ms (0.4ms, falls nach 6 Trainings 30min cycling ohne Widerstand nicht ausgeführt werden konnten), Frequenz: randomly at 30, 50, 60 Hz</p> <p>Widerstand des Schwungrades: 0 oder 1 kilopond (in Achtel-Schritten)</p> <p>1. Training: 10 min, 2. Training: 15 min, danach: 30min oder bis Proband stoppen wollte.</p> <p>Es wurde immer mit maximaler Kraft trainiert, welche die Probanden erreichen konnten. Der Widerstand wurde automatisch angepasst (Kadenz unter 35 r.p.m. → Widerstand geringer, Kadenz über 50 r.p.m. → Widerstand stärker) → Effekt: Muskeln wurden stärker!</p> <p>3x/Woche FESCE, 2x/Woche standing für 30min</p> <p>CON-Gruppe: 5x/woche 30min standing</p>

	<p>Beide Gruppen hatten daneben ein normales REHA-Programm → Elektrodengrösse?</p>
Results	<p>Die Immobilisationsdauer war in der I-Gruppe mit 2.6 Wochen signifikant kürzer als in der CON-Gruppe mit 4.5 Wochen (→ 2 Probanden hatte lange Immobilisationsdauer)</p> <p>Nach dem ersten CT gab es keinen signifikanten Unterschied in der BMD zwischen beiden Gruppen.</p> <p>Die Inter-Gruppen Differenz nach dem zweiten CT für absolute und relative BMD war auch nicht statistisch signifikant ($p = 0.3$ und 0.2)</p> <p>→ es konnte jedoch ein Trend zur verlangsamten BMD-Abnahme in Prozent pro Monat festgestellt werden:</p>  <p>Figure 3 Boxplot of the relative monthly changes in bone mineral density (BMD) of the two groups. Means (—), quartiles (box), and 1 and 99% values (x) are shown. Difference between groups is not statistically significant.</p> <p>In der I-Gruppe selber konnten zwei signifikante Korrelationen ausfindig gemacht werden: zwischen Alter und absolutem als auch relativem BMD-Change pro Monat.</p>  <p>Figure 4 Scatter plot of age vs. relative change in bone mineral density per month in percent (first computed tomography measurement is taken as 100%). Subjects of the functional electrical stimulation (FES)-cycling group are marked as filled squares while subjects of the control group are marked as empty circles. There is a significant linear correlation for the FES group ($r = -0.46$, $P = 0.05$) but not for the control group ($r = -0.3$, $P = 0.2$).</p>
Statistische Tests	Two-sample Kolmogorov-Smirnov test
Drop Outs	<p>4</p> <p>2 aus Interventionsgruppe aus der Analyse ausgeschlossen, trotz Beendigung der Studie, da für die Kontrollgruppe keine Probanden mit ähnlichem Alter gefunden werden konnten (17 und 18 Jahre)</p>

Conclusion	<p>Functional electrical stimulation-cycling kurz nach der Diagnose SCI bringt keinen signifikanten Effekt auf die Abnahme der Knochendichte. Ältere Leute und Leute mit höherer BMD vor Unfall leiden an schnellerem Knochenschwund im Kortikalen Knochen der Tibia.</p> <p>Gründe:</p> <p>Zeitspanne zu kurz um Knochenmineralverlust im kortikalen Knochen zu entdecken → Knochenverlust in der Kortikalen Schale ist langsamer oder sogar verspätet im ggs zum trabekulären Knochen.</p> <p>Es wurde die Dichte des Kortikalen Knochens in der Diaphyse der Tibia gemessen, anstatt der trabekuläre Knochen in der Epiphyse der Tibia → bessere Reproduzierbarkeit der Messtechnik</p> <p>In der Akutphase der Probanden hat es viele confounding factors.</p> <p>Es könnte sein, dass es bei Messungen des Femurs mehr signifikante Resultate gegeben hätte, da die Elektrostimulation an den Muskeln des Oberschenkels angebracht waren. Die Untersucher wollten den Unterleib nicht der CT-Strahlung aussetzen. → warum nicht mit DEXA gemessen?</p> <p>Während Elektroden an den Fuss-Extensoren und Fuss-Flexoren festgemacht worden, dann hätte es wohl grössere Effekte gegeben.</p> <p>Interessant: Probanden mit höherem BMD vor dem Unfall und auch ältere Probanden verloren schneller an BMD als andere!</p>
------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Mohr, T., Podenphant, J., Biering-Sorensen, F., Galbo, H., Thamsborg, G., Kjaer, M. (1997). Increased Bone Mineral Density after Prolonged Electrically Induced Cycle Training of Paralyzed Limbs in Spinal Cord Injured Man. *Calcified Tissue International*, 61, 22-25.

Study Purpose	Klar und verständlich → verspricht dem Leser schon im Titel eine signifikante Wirkung des Electrically Induced Cycle auf die Knochendichte
Literatur	Background-Literatur vorhanden. Jedoch fraglich ob gut recherchiert, da Verstanden werden könnte, dass dies die erste Studie ist, welche den Verlust der BMD mittels physischer Aktivität misst.
Design	<p>Cohortenstudie</p> <p>Patienten gaben schriftliches Einverständnis</p> <p>Vom Municipal Ethical Committee of Copenhagen abgesegnet</p>
Sample	<p>N=10</p> <p>8 Männer, 2 Frauen</p> <p>6 Tetraplegiker (C6), 4 Paraplegiker (T4)</p> <p>Einschlusskriterien:</p> <p>complete motor Lesion in den UE</p> <p>Volles ROM in Knie und Hüfte</p>

	<p>Alter: 35.3 +/- 2.3 Jahre (range 27-45)</p> <p>Jahre nach Unfall: 12.5 +/- 2.7 (range 2-24)</p> <p>→ Es werden nur Einschlusskriterien genannt, keine Ausschlusskriterien</p> <p>→ keine Kontrollgruppe vorhanden → BMD für LWS und Femur mittels Norm-Angaben der Scanner-Software verglichen, für proximale Tibia: BMD Messung an 5 gesunden Probanden (2x Messungen, coefficient of variation zwischen Resultaten der gleichen Person: 2,3%)</p> <p>→ sehr kleine Probandenzahl</p> <p>→ nicht erwähnt wo Patienten ausgewählt wurden</p>																
Messinstrument	<p>Dual-energy absorptiometry (DEXA-scanner)</p> <p>kleine Röntgenstrahlung</p> <p>→ Messanlage nicht geprüft</p> <p>kommerziell erhältlicher Enzym-Immunologie-Untersuchung</p>																
Outcomes	<p>Bone Mineral Density (BMD)</p> <p>LWS L2-L4, Femurhals, proximale Tibia</p> <p>Messungen (Anfang, 12mt, 18mt)</p> <p>Serum osteocalcin und Urin (deossypyridinolin, creatin) Messungen (Anfang, 3, 6, 12 und 18 mt)</p>																
Intervention	<p>Computer-controlled functional electrical stimulation cycle ergometer mit aufrechtem Sitz</p> <p>Elektrische Stimulation: M. quadriceps, Mm. ischiocrurales, Mm. glutei</p> <p>Funktionelle elektrische Stimulation: 30min, 3x woche, 12mt</p> <p>Danach: 30min, 1x woche, 6 mt</p> <p>Work load so hoch wie möglich</p> <p>Sauerstoffsättigung (alle 3 mt) für Trainingsintensität</p> <p>→ Elektrodengrösse? Befestigung?</p> <p>→ genaue Platzierung der Elektroden?</p> <p>→ Einstellungen der elektrischen Stimulation?</p> <p>→ Pause zwischen Interventionen? Manchmal kürzer als 30min?</p> <p>→ nur 2.3 Trainings pro Woche effektiv</p>																
Results	<p>Table 1. The bone mineral density (BMD, g/cm³) (mean ± SE) in spinal cord injured subjects before (n = 10), after 12 months (n = 10), and 18 months (n = 5) of FES training^a</p> <table><tr><th></th><th>Before</th><th>12 Months</th><th>18 Months</th></tr><tr><td>Femoral neck</td><td>0.63 ± 0.05^a</td><td>0.61 ± 0.05^a</td><td>0.55 ± 0.05^a</td></tr><tr><td>Lumbar spine</td><td>1.21 ± 0.07</td><td>1.22 ± 0.07</td><td>1.23 ± 0.09</td></tr><tr><td>Proximal tibia</td><td>0.49 ± 0.04^a</td><td>0.54 ± 0.04^a</td><td>0.48 ± 0.02^a</td></tr></table> <p>^a The number of training sessions per week was reduced from three to one after 12 months of training.</p> <p>^b Difference (P < 0.05) from values before training</p> <p>^c Difference (P < 0.05) from values in controls</p> <p>Zu Beginn der Studie:</p> <p>die BMD in der proximalen Tibia der Probanden (0.49) signifikant tiefer als in der Kontrollgruppe (0.94). Die BMD im Femurhals war auch signifikant tiefer. In der LWS liessen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.</p>		Before	12 Months	18 Months	Femoral neck	0.63 ± 0.05 ^a	0.61 ± 0.05 ^a	0.55 ± 0.05 ^a	Lumbar spine	1.21 ± 0.07	1.22 ± 0.07	1.23 ± 0.09	Proximal tibia	0.49 ± 0.04 ^a	0.54 ± 0.04 ^a	0.48 ± 0.02 ^a
	Before	12 Months	18 Months														
Femoral neck	0.63 ± 0.05 ^a	0.61 ± 0.05 ^a	0.55 ± 0.05 ^a														
Lumbar spine	1.21 ± 0.07	1.22 ± 0.07	1.23 ± 0.09														
Proximal tibia	0.49 ± 0.04 ^a	0.54 ± 0.04 ^a	0.48 ± 0.02 ^a														

	<p>Nach 12mt:</p> <p>Verbesserte Sauerstoffaufnahme, verbesserter Ergometer-work-output (Signifikant?)</p> <p>Signifikante BMD Zunahme der proximalen Tibia. LWS und Femurhals ergaben keine signifikanten Unterschiede.</p> <p>Nach 18mt (nur noch 9 Probanden):</p> <p>Sauerstoffaufnahme und work-output verschlechterten sich im Vergleich zur 12mt-Messung.</p> <p>Auch die BMD in der proximalen Tibia sank wieder auf den Anfangswert.</p> <p>Serum osteocalcin und urin (deoxypyridinoline/creatinine) waren anfangs auf Normalwerten und änderten sich nicht signifikant über die Zeit.</p>
Statistische Tests	Wilcoxon rank sum test, signifikant: 5%
Drop Outs	Nach 12mt: 1
Conclusion	<p>Durch die Intervention (3x Woche) konnte in der proximalen Tibia ein signifikanter BMD Anstieg festgestellt werden. 1 Training pro Woche kann diesen Effekt nicht halten.</p> <p>Steigung der BMD in der Tibia konnte nicht mittels biochemischen Knochenmarkers (osteocalcin) nachgewiesen werden → zu kleine betroffene Knochenmasse</p> <p>Widerstand des cycling in absoluten Zahlen recht klein, Geschwindigkeit war höher, als bei willkürlichen Kontraktionen → Stimulation des Knochens?</p> <p>Tibia Ansatz der stimulierten Muskeln und direkte Kraftübertragung der Pedalkraft</p> <p>Knochen antwortet langsam auf Stimuli → Hangartner et al. (1994) fanden keinen Effekt bei Studie über 14 Tage</p> <p>→ klinische Signifikanz: Training muss jedoch lebenslanglich ausgeübt werden.</p>

De Bruin, E. D., Frey-Rindova, P., Herzog, R. E., Dietz, V., Dambacher, M. A., Stüssi, E. (1999). *Changes of Tibia Bone Properties after Spinal Cord Injury: Effects of early Intervention*. Arch Phys Med Rehabil, 80, 214-220.

Study Purpose	<p>Frage klar und verständlich. Jedoch ist nicht ersichtlich, mit welcher Methode dies untersucht wird.</p> <p>Im Abstract: early loading intervention with weight-bearing by standing and treadmill walking.</p>
Literatur	<p>Background-Literatur vorhanden.</p> <p>Fragestellung ist nicht nur nach BMD in der Tibia. Die BMD sagt nichts über das Frakturrisiko aus. Mit der Bone-Stiffness Measurement Device Swing (BSMD-Swing) Methode (welche für die Raumfahrt entwickelt wurde), kann man mehr über die Knochenstärke aussagen.</p>
Design	Single-case, experimental, multiple-baseline design
Sample	N=19 (während 1,5 Jahren)

	<p>Nur Männer, ASIA A-D, Alter: 19-53, Level L1-C4</p> <p>→ random-Auswahl in Gruppen</p> <p>N=6 (Standing und Treadmill-Walking)</p> <p>N=7 (Standing und normales Reha-Program)</p> <p>N=6 (BMD Messung 5 Wochen nach SCI, nur diese Daten vorhanden, da sie 3mt vor Abschluss der Studie erhoben wurden.)</p> <p>→ vor Eintritt wurde ein medizinisches Screening gemacht um Kontraindikationen festzustellen. Alle Patienten durften an der Studie teilnehmen.</p> <p>→ Patienten nahmen nur Medikamente, welche keinen direkten Einfluss auf den Knochenmetabolismus hatten.</p> <p>→ Kontraindikationen Walking: Mitbeteiligung des unteren Motoneuron, vorhergehend Frakturen in der UE, medizinische oder psychische Instabilität</p> <p>→ Ein-/Ausschlusskriterien Walking/Standing-Gruppe: Zentrale Läsion, Alter zw 10 und 60 Jahren, keine anderen Verletzungen, keine Kreislaufprobleme</p>
Messinstrument	<p>Densis Scan 2000 (quantitative computer tomography)</p> <p>BSMD-Swing</p>
Outcomes	<p>Messung der Tibia → 2 CT Scans: Fussgelenk und Diaphyse (gleiche Stellung sichergestellt)</p> <p>In den Wochen 5, 9, 13, 17, 21, 25 nach Unfall</p> <p>→ Trabekulärer Knochen, kortikaler Knochen, area moment of inertia of the tibia</p> <p>BSMD-Swing: Biegesteifigkeit</p> <p>In der Woche 5 und 25 nach Unfall</p>
Intervention	<p>Start: so schnell als möglich nach Unfall</p> <p>Dosierung: 30 min standing, 30 min walking 5d/woche für 6mt</p> <p>Normales Rehaprogramm: inkl Standing</p> <p>Walking: low speed (1.3km/h). wenn nötig half Physiotherapeut beim lift-off und heel-strike in der Gangphase. Gewichtabnahme durch ein spezielles Gestell.</p> <p>Standing: Standing mit Hüftfixation</p> <div data-bbox="378 1464 877 1821"> <p>The diagram consists of two parts, A and B. Part A shows a person walking on a treadmill. They are wearing a harness that is suspended from a horizontal bar. The bar is connected to a vertical scale and a winch. The treadmill is labeled 'Force plate'. Part B shows a person standing on a platform. They are also wearing a harness that is suspended from a horizontal bar, connected to a vertical scale and a winch. The platform is labeled 'Force plate'.</p> </div> <p>Fig 1. Schematic exercise set-up for early (A) walking on a treadmill and (B) standing exercises. Patients are suspended over the treadmill in a parachute harness. The harness is connected to a winch that allows for body weight support adjustment. During exercises the treadmill moves at a speed of about 1.3km/h. Standing is performed in a standing frame. To maintain the patient in upright position, a hip-suspension band is applied.</p>
Results	<p>Es gab viele verschiedene Komplikationen, welche die frühe Intervention bei einigen Probanden verunmöglichte. Daher wurden die Probanden in 2 Gruppen eingeteilt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Immobilisation (n=4)

	<p>2. Standing (n=5), standing und walking (n=4)</p> <p>Verschiedene Grade des BMD-Verlustes. Am stärksten im trabekulären Knochen der immobilen Patienten. Bei früher Mobilisation gab es nur einen mässigen Verlust oder sogar einen moderaten Anstieg. → signifikanter Unterschied. Jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Interventionen.</p> <p>Änderungen im kortikalen Knochen sind klein und vernachlässigbar und differieren nicht in den verschiedenen Gruppen.</p> <p>→ in den Statistiken wurden nur immer Angaben zu einzelnen Probanden gemacht: dies gibt einen schlechten Gesamtüberblick und eine Verzerrung der Ergebnisse.</p>
Statistische Tests	<p>Pearson correlation</p> <p>SAS statistical package, welches auf einem PC installiert war</p>
Drop Outs	Nichts erwähnt (jedoch konnten nicht alle Probanden so an der Studie teilnehmen wie es vorgesehen wäre)
Conclusion	<p>Die frühe Intervention reduziert den BMD-Verlust im Gegensatz zu den immobilen Patienten. (trabekulärer Knochen) → im kortikalen Knochen konnte kein Unterschied festgestellt werden. (reduction of cortical bone appeared to be delayed compared to the primarily affected trabecular bone)</p> <p>Es gibt keinen signifikanten Unterschied von der walking-standing-Gruppe zur standing-Gruppe.</p>

Needham-Shropshire, B. M., Broton, J. G., Klose, K. J., Lebowitz, N., Guest, R. S., Jacobs, P. L. (1997). Evaluation of a Training Program for Persons with SCI Paraplegia using the Parastep® 1 Ambulation System: Part 3. Lack of Effect on Bone Mineral Density. Arch Phys Med Rehabil, 78, 799-803.

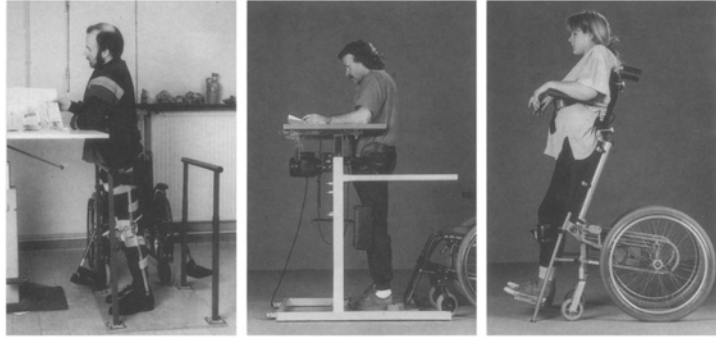
Study Purpose	Klar und verständlich → Ergebnis ohne Signifikanz wird im Titel schon vorweggenommen
Literatur	Background-Literatur vorhanden. Kleiner Abschnitt über SCI-Pionier Sir Ludwig Guttmann.
Design	Before-After Trial
Sample	<p>N=16 (13 Männer, 3 Frauen)</p> <p>Einschlusskriterien:</p> <p>SCI zw T4 und T11, motor- und sensory complete, mind. 6 mt nach Unfall</p> <p>→ Pat wurden von einem Physiotherapeuten untersucht um allfällige physischen Einschränkungen, welche die Teilnahme verunmöglichen würden, aufzuspüren.</p> <p>→ Röntgen von Hüfte, Knie und Fussgelenk wurden von einem orthopädischen Chirurgen auf die Unversehrtheit der Gelenke untersucht.</p> <p>→ schriftliches Einverständnis (University Human Research Medical Sciences Subcommittee)</p>

Messinstrument	<p>DP3 dual-photon densitometer</p> <p>→ durch einen lizenzierten Nuklearmedizinischen Techniker ausgeführt</p> <p>→ kleine radioaktive Quelle</p> <p>→ vor dem ersten Training und nach 32 Trainings Messungen (14 Probanden wurden nach weiteren 8 Wochen nochmals getestet)</p> <p>→ Präzision test-retest Reliabilität: 3%</p>																																																																																																																																																																																																																											
Outcomes	<p>BDM (Femurhals, Ward's Triangle (Das Wardsche Dreieck ist ein Locus minoris resistentiae, d.h., in diesem anatomischen Dreieck wurde von Natur aus mit Trabekeln gespart.), Trochanter)</p> <p>→ Messung in aufrechter Position, rechte Hüfte in der Region der Radioaktiven Strahlung, rechter Fuss in 45° Innenrotation. Es braucht 30 Durchgänge des passierenden Röntgenarmes.</p>																																																																																																																																																																																																																											
Intervention (Beschreibung in Part 1 der Studie)	<p>Mittels des Parastep® (Sigmedics Inc.) und funktioneller neuromuskulärer Stimulation. Elektroden: M. quadriceps, M. gluteai, Region des N. peroneus Einstellungen: Frequenz: 24Hz, Pulsweite: 150µsec, Intensität: 0mA bis 300mA (Stand-Aktivität: 140mA)</p> <p>Wenn nötig hatten Patienten eine Fussheberorthese an.</p> <p>Vor dem Start der Intervention: mindestens 3 min Stehen, dann dreimal pro Woche Training bis zu 32 Einheiten. Gehdistanz durfte von Probanden gewählt werden, wurden jedoch ermutigt so weit/lang als möglich zu gehen. Bis drei Sessions pro Trainingseinheit (dazwischen 15-20min Pause)</p>																																																																																																																																																																																																																											
Results	<p>Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in der BMD vor und nach der Intervention gefunden!</p> <p>Anfangswerte des BMD waren in den Mittelwerten leicht verzerrt, wegen zwei African-American-Frauen (diese ethnische Gruppe hat generell einen höheren BMD) und einem 23jährigen Probanden (nr. 10), der erst seit 7 mt die Diagnose hat und davor sehr viel Sport machte und dadurch eine höhere als normale BMD hatte.</p> <table><caption>Table 1: Individual Bone Density Measures (g/cm²)</caption><thead><tr><th rowspan="2">Subject</th><th colspan="3">Femoral Neck</th><th colspan="3">Ward's Triangle</th><th colspan="3">Trochanteric</th></tr><tr><th>Baseline</th><th>Post 1</th><th>Post 2</th><th>Baseline</th><th>Post 1</th><th>Post 2</th><th>Baseline</th><th>Post 1</th><th>Post 2</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>.66</td><td>.66</td><td>.67</td><td>.57</td><td>.60</td><td>.60</td><td>.52</td><td>.57</td><td>.52</td></tr><tr><td>2</td><td>.74</td><td>.67</td><td>.71</td><td>.68</td><td>.66</td><td>.68</td><td>.56</td><td>.54</td><td>.57</td></tr><tr><td>3</td><td>.6</td><td>.57</td><td>.61</td><td>.48</td><td>.47</td><td>.46</td><td>.41</td><td>.42</td><td>.40</td></tr><tr><td>4</td><td>.65</td><td>.71</td><td>.71</td><td>.56</td><td>.62</td><td>.61</td><td>.54</td><td>.53</td><td>.55</td></tr><tr><td>5</td><td>.72</td><td>.67</td><td>.67</td><td>.67</td><td>.60</td><td>.55</td><td>.52</td><td>.51</td><td>.51</td></tr><tr><td>6</td><td>.77</td><td>.70</td><td>.72</td><td>.57</td><td>.53</td><td>.55</td><td>.49</td><td>.49</td><td>.48</td></tr><tr><td>7</td><td>.83</td><td>.81</td><td></td><td>.79</td><td>.76</td><td></td><td>.53</td><td>.55</td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>.83</td><td>.81</td><td>.77</td><td>.70</td><td>.71</td><td>.68</td><td>.86</td><td>.84</td><td>.84</td></tr><tr><td>9</td><td>.79</td><td>.84</td><td>.84</td><td>.77</td><td>.81</td><td>.84</td><td>.58</td><td>.59</td><td>.59</td></tr><tr><td>10</td><td>1.23</td><td>1.20</td><td>1.17</td><td>1.16</td><td>1.12</td><td>1.09</td><td>.98</td><td>.96</td><td>.89</td></tr><tr><td>11</td><td>.62</td><td>.67</td><td>.65</td><td>.54</td><td>.57</td><td>.56</td><td>.51</td><td>.51</td><td>.51</td></tr><tr><td>12</td><td>.64</td><td>.64</td><td>.60</td><td>.58</td><td>.57</td><td>.55</td><td>.51</td><td>.49</td><td>.48</td></tr><tr><td>13</td><td>.97</td><td>.90</td><td>.87</td><td>.86</td><td>.81</td><td>.78</td><td>.59</td><td>.53</td><td>.52</td></tr><tr><td>14</td><td>.89</td><td>.89</td><td>.94</td><td>.78</td><td>.86</td><td>.84</td><td>.65</td><td>.68</td><td>.71</td></tr><tr><td>15</td><td>.68</td><td>.67</td><td>.71</td><td>.65</td><td>.60</td><td>.64</td><td>.55</td><td>.54</td><td>.58</td></tr><tr><td>16</td><td>.72</td><td>.67</td><td>.68</td><td>.72</td><td>.65</td><td>.67</td><td>.51</td><td>.44</td><td>.41</td></tr><tr><td colspan="10">Combined Sample Statistics</td></tr><tr><td>Mean (g/cm²)</td><td>.77</td><td>.76</td><td>.76</td><td>.69</td><td>.68</td><td>.68</td><td>.58</td><td>.57</td><td>.58</td></tr><tr><td>SD</td><td>.16</td><td>.15</td><td>.15</td><td>.16</td><td>.16</td><td>.16</td><td>.14</td><td>.14</td><td>.15</td></tr><tr><td>N</td><td>16</td><td>16</td><td>14</td><td>16</td><td>16</td><td>14</td><td>16</td><td>16</td><td>14</td></tr></tbody></table>	Subject	Femoral Neck			Ward's Triangle			Trochanteric			Baseline	Post 1	Post 2	Baseline	Post 1	Post 2	Baseline	Post 1	Post 2	1	.66	.66	.67	.57	.60	.60	.52	.57	.52	2	.74	.67	.71	.68	.66	.68	.56	.54	.57	3	.6	.57	.61	.48	.47	.46	.41	.42	.40	4	.65	.71	.71	.56	.62	.61	.54	.53	.55	5	.72	.67	.67	.67	.60	.55	.52	.51	.51	6	.77	.70	.72	.57	.53	.55	.49	.49	.48	7	.83	.81		.79	.76		.53	.55		8	.83	.81	.77	.70	.71	.68	.86	.84	.84	9	.79	.84	.84	.77	.81	.84	.58	.59	.59	10	1.23	1.20	1.17	1.16	1.12	1.09	.98	.96	.89	11	.62	.67	.65	.54	.57	.56	.51	.51	.51	12	.64	.64	.60	.58	.57	.55	.51	.49	.48	13	.97	.90	.87	.86	.81	.78	.59	.53	.52	14	.89	.89	.94	.78	.86	.84	.65	.68	.71	15	.68	.67	.71	.65	.60	.64	.55	.54	.58	16	.72	.67	.68	.72	.65	.67	.51	.44	.41	Combined Sample Statistics										Mean (g/cm²)	.77	.76	.76	.69	.68	.68	.58	.57	.58	SD	.16	.15	.15	.16	.16	.16	.14	.14	.15	N	16	16	14	16	16	14	16	16	14
Subject	Femoral Neck			Ward's Triangle			Trochanteric																																																																																																																																																																																																																					
	Baseline	Post 1	Post 2	Baseline	Post 1	Post 2	Baseline	Post 1	Post 2																																																																																																																																																																																																																			
1	.66	.66	.67	.57	.60	.60	.52	.57	.52																																																																																																																																																																																																																			
2	.74	.67	.71	.68	.66	.68	.56	.54	.57																																																																																																																																																																																																																			
3	.6	.57	.61	.48	.47	.46	.41	.42	.40																																																																																																																																																																																																																			
4	.65	.71	.71	.56	.62	.61	.54	.53	.55																																																																																																																																																																																																																			
5	.72	.67	.67	.67	.60	.55	.52	.51	.51																																																																																																																																																																																																																			
6	.77	.70	.72	.57	.53	.55	.49	.49	.48																																																																																																																																																																																																																			
7	.83	.81		.79	.76		.53	.55																																																																																																																																																																																																																				
8	.83	.81	.77	.70	.71	.68	.86	.84	.84																																																																																																																																																																																																																			
9	.79	.84	.84	.77	.81	.84	.58	.59	.59																																																																																																																																																																																																																			
10	1.23	1.20	1.17	1.16	1.12	1.09	.98	.96	.89																																																																																																																																																																																																																			
11	.62	.67	.65	.54	.57	.56	.51	.51	.51																																																																																																																																																																																																																			
12	.64	.64	.60	.58	.57	.55	.51	.49	.48																																																																																																																																																																																																																			
13	.97	.90	.87	.86	.81	.78	.59	.53	.52																																																																																																																																																																																																																			
14	.89	.89	.94	.78	.86	.84	.65	.68	.71																																																																																																																																																																																																																			
15	.68	.67	.71	.65	.60	.64	.55	.54	.58																																																																																																																																																																																																																			
16	.72	.67	.68	.72	.65	.67	.51	.44	.41																																																																																																																																																																																																																			
Combined Sample Statistics																																																																																																																																																																																																																												
Mean (g/cm²)	.77	.76	.76	.69	.68	.68	.58	.57	.58																																																																																																																																																																																																																			
SD	.16	.15	.15	.16	.16	.16	.14	.14	.15																																																																																																																																																																																																																			
N	16	16	14	16	16	14	16	16	14																																																																																																																																																																																																																			
Statistische Tests	ANOVA (Vergleich BMD vor und nach dem Training)																																																																																																																																																																																																																											
Drop Outs	keine																																																																																																																																																																																																																											
Conclusion	Axial loading kombiniert mit Muskel-Stimulation und resistiven Übungen bringt keine signifikante Wirkung in der Veränderung der BMD bei Personen mit kompletter Paraplegie.																																																																																																																																																																																																																											

	<p>→ anscheinend gute Interrater Reliabilität, da andere Studien ähnliche BMD-Werte gemessen haben.</p> <p>→ Subjekt nr. 10 (7mt nach Unfall) hat härter trainiert als andere (3h per day) und trotz diesem Intensiven Training an BMD abgenommen. Auch ein anderer Proband (nr. 5) hat sehr früh nach dem Unfall (8mt nach Unfall) mit dem Training begonnen und auch an BMD abgenommen → Indikator, dass auch frühes Training keinen effektiven Nutzen auf die BMD hat. → evtl hat noch früheres Training einen Einfluss auf das Eindämmen der BMD-Abnahme.</p> <p>→ Schlusssatz: It is possible that exercise will be a necessary, but insufficient, intervention in solving the problem.</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Goemaere, S., Van Laere, M., De Neve, P., Kaufmann, J. M. (1994). *Bone Mineral Status in Paraplegic Patients who do or do not perform Standing*. Osteoporosis International, 4, 138-143.

Study Purpose	Klar und verständlich
Literatur	Background-Literatur vorhanden. Fragestellung aufgrund Neuerungen in Fixation und Variationen im Standing
Design	Cross-sectional study
Sample	<p>N=53 (42 Männer, 11 Frauen)</p> <p>(Kontrollgruppe (gesunde Probanden): N=53, passend in Geschlecht und Alter)</p> <p>Einschlusskriterien:</p> <p>Komplette SCI, Rollstuhlabhängig, nicht bettlägrig, ambulant, Unfall mehr als ein Jahr zurück (Vermeidung des akuten Knochenmassenverlustes), 6 Punkte im functional independence measurement scale of Granger (ADL und Transfers)</p> <p>Ausschlusskriterien:</p> <p>Postmenopausale Frauen, Patienten jünger als 20 Jahre, Einnahme von Bisphosphonanten.</p>
Messinstrument	Dual photon X-ray absorptiometry (DXA)
Outcomes	<p>BMD</p> <p>LWS (L3/4), Hüfte (Trochanter, Femurhals, Femurschaft), Vorderarm</p>

Intervention	 <p>Fig. 1. Left: Standing using long leg braces: there is a real axial loading on the lower extremities (n = 20). Middle: Standing using a standing frame: a hip-suspension band is necessary to maintain the patient in the upright position (n = 9). Right: Standing using a standing wheelchair: the patient is bending backwards (n = 9).</p> <p>Long leg braces (n=20) Standing frame (n=9) Standing wheelchair (n=9) No Standing (n=15) (Patienten hatten keine Lust, lag nicht an funktionellen Einschränkungen) Patienten konnten in 3 Gruppen aufgeteilt werden: regelmässiges Stehen (1h pro Tag), unregelmässig (3x Woche), kein Stehen. → regelmässiges (n=20) und unregelmässiges (n=18) Stehen wurde in einer Gruppe zusammengefasst, da keine Unterschiede erkennbar waren → pooled Group (n=38)</p>
Results	<p>Keine statistische Signifikanz zwischen Krankheitsdauer und Grad der Spastizität zwischen Standing und Non-Standing.</p> <p>Körpergewicht war in der Non-Standing-Gruppe signifikant höher.</p> <p>Statistische Signifikanz (teilweise präventiver Effekt) auf den Knochenmassenverlust wurde im Femurschaft nachgewiesen (p=0.009). Nicht jedoch in der proximalen Hüfte.</p> <p>Patienten mit long leg braces hatten im Trochanter und total Hip eine signifikant höhere BMD im Vergleich zu anderen Standing-Vorrichtungen. → axiale Loading auf die Hüfte!</p> <p>Die Korrelation zwischen BMD und Krankheitsdauer war nur im Femurschaft signifikant. (Spearman correlation coefficient)</p>
Statistische Tests	<p>SAS statistical package, welches auf dem PC vorhanden war.</p> <p>Wilcoxon rank sum test (Krankheitsdauer in der Stand und nicht-Stand Gruppe)</p> <p>Fisher's exact test (Verteilung von Geschlecht und Spasizität in der Patienten-Gruppe)</p> <p>t-test, F-test (absolute BMD-Werte und Z-scores innerhalb der Patienten-Gruppe)</p> <p>Spearman correlation test (Einfluss der Krankheit auf BMD)</p> <p>→ statistische Signifikanz bei 0.05</p>
Drop Outs	Nicht erwähnt
Conclusion	<p>Die Studie bestätigt den Abfall der BMD in den Regionen ohne Belastung (non-weightbearing): Hüfte und Femurschaft.</p> <p>Die Studie zeigt auch die viel bessere Erhaltung der Knochenmasse in der LWS auf.</p> <p>→ Cave mit Ausdruck „sublesional osteoporosis“: Effekt vom weightbearing im Roll-</p>

stuhl und mehr mechanische Belastung durch Fixationsmaterial.

Effekt Femurschaft vs non-Effekt proximaler Femur: Die Übertragung der Kraft durch trabekulären und kortikalen Knochen ist verschieden. → Knochenänderungen sind schneller im kortikalen Knochen sichtbar. Versch. Beanspruchungs-Schwellen (strain thresholds)

→ Einfluss der Krankheitsdauer war signifikant beim Femurschaft → Indikator dafür, dass der Verlust kortikalen Knochens für mehr als 1 Jahr nach Unfall weiterfährt.

→ Standing „könnte“ klinische Relevanz haben.

8.3. ASIA

Patient Name _____

Examiner Name _____ Date/Time of Exam _____



STANDARD NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY



MOTOR		KEY MUSCLES (scoring on reverse side)		LIGHT TOUCH		PIN PRICK		SENSORY		KEY SENSORY POINTS	
	R	L			R	L					
C5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elbow flexors								
C6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wrist extensors								
C7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elbow flexors								
C8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Finger flexors (distal phalanx of middle finger)								
T1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Finger abductors (little finger)								
UPPER LIMB TOTAL (MAXIMUM) (25) (25) (50)											
Comments:											
L2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hip flexors								
L3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Knee extensors								
L4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ankle dorsiflexors								
L5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Long toe extensors								
S1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ankle plantar flexors								
Voluntary anal contraction (Yes/No) <input type="checkbox"/>											
LOWER LIMB TOTAL (MAXIMUM) (25) (25) (50)											
TOTALS { <input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> = <input type="checkbox"/> (MAXIMUM) (56) (56) (56) (56) }											
Any anal sensation (Yes/No) <input type="checkbox"/>											
PIN PRICK SCORE (max: 112)											
LIGHT TOUCH SCORE (max: 112)											
NEUROLOGICAL LEVEL		COMPLETE OR INCOMPLETE?		ZONE OF PARTIAL PRESERVATION		SENSORY		R		L	
The most caudal segment with normal function		Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5		Caudal extent of partially innervated segments		SENSORY		R		L	
MOTOR		ASIA IMPAIRMENT SCALE				MOTOR		R		L	
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association.

REV 03/08

MUSCLE GRADING

- 0 total paralysis
- 1 palpable or visible contraction
- 2 active movement, full range of motion, gravity eliminated
- 3 active movement, full range of motion, against gravity
- 4 active movement, full range of motion, against gravity and provides some resistance
- 5 active movement, full range of motion, against gravity and provides normal resistance
- 5* muscle able to exert, in examiner's judgement, sufficient resistance to be considered normal if identifiable inhibiting factors were not present

NT not testable. Patient unable to reliably exert effort or muscle unavailable for testing due to factors such as immobilization, pain on effort or contracture.

ASIA IMPAIRMENT SCALE

- ☐ **A = Complete:** No motor or sensory function is preserved in the sacral segments S4-S5.
- ☐ **B = Incomplete:** Sensory but not motor function is preserved below the neurological level and includes the sacral segments S4-S5.
- ☐ **C = Incomplete:** Motor function is preserved below the neurological level, and more than half of key muscles below the neurological level have a muscle grade less than 3.
- ☐ **D = Incomplete:** Motor function is preserved below the neurological level, and at least half of key muscles below the neurological level have a muscle grade of 3 or more.
- ☐ **E = Normal:** Motor and sensory function are normal.

CLINICAL SYNDROMES (OPTIONAL)

- ☐ Central Cord
- ☐ Brown-Sequard
- ☐ Anterior Cord
- ☐ Conus Medullaris
- ☐ Cauda Equina

STEPS IN CLASSIFICATION

The following order is recommended in determining the classification of individuals with SCI.

- Determine sensory levels for right and left sides.
- Determine motor levels for right and left sides.
Note: in regions where there is no myotome to test, the motor level is presumed to be the same as the sensory level.
- Determine the single neurological level.
This is the lowest segment where motor and sensory function is normal on both sides, and is the most cephalad of the sensory and motor levels determined in steps 1 and 2.
- Determine whether the injury is Complete or Incomplete (sacral sparing).
If voluntary anal contraction = No AND all S4-5 sensory scores = 0 AND any anal sensation = No, then injury is COMPLETE. Otherwise injury is incomplete.
- Determine ASIA Impairment Scale (AIS) Grade:

Is injury Complete?
 NO
 ↓
Is injury motor incomplete?
 YES
 ↓

If YES, AIS=A Record ZPP
 (For ZPP record lowest dermatome or myotome on each side with some (non-zero score) preservation)
 If NO, AIS=B
 (Yes=voluntary anal contraction OR motor function more than three levels below the motor level on a given side.)

Are at least half of the key muscles below the (single) neurological level graded 3 or better?

NO ↓ YES ↓
 AIS=C AIS=D

If sensation and motor function is normal in all segments, AIS=E

Note: AIS E is used in follow up testing when an individual with a documented SCI has recovered normal function. If at initial testing no deficits are found, the individual is neurologically intact; the ASIA Impairment Scale does not apply.